



ATT60

Mérnöki Szimpózium a Bánkin előadásai

*(Proceedings of the Engineering
Symposium at Bánki)*

2023



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

A Magyar Tudományos Akadémia
prezidiumszék

Mérnöki Szimpózium a Bánkin Előadásai

Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

BÁNKI DONÁT FACULTY OF MECHANICAL
AND SAFETY ENGINEERING

Copyright © a szerzők / the authors, ESB 2023

Minden jog, a kiadvány kivonatos utánnnyomására, kivonatos vagy teljes másolására (fotokópia, mikrokópia) és fordítására fenntartva.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, or transmitted, in any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Kiadó / Publisher: Óbudai Egyetem

Felelős kiadó / Editor-in-Chief: Rajnai Zoltán

Szerkesztette / Edited by: Horváth Richárd, Lukács Judit, Stadler Róbert Gábor, Pinke Péter

Műszaki szerkesztő / Technical Editor: Horváth Richárd

Borítóterv / Cover: Keserűné Balázs Tímea

ISBN 978-963-449-359-4

online elérhető / online available at:

<http://bgk.uni-obuda.hu/esb>

2023.

Köszöntő

Az idei ESB – Engineering Symposium at the Bánki, az elmúlt évtizedek hagyományait méltó módon követve, sikerrel megszólította a különböző kutatói területek képviselőit. Az idei konferencián bemutatott előadásokból összeállított konferencia kötet, most egy igazi különlegességgel is készültünk. 2023-ban ünnepli ugyanis az Anyagtudományi Tanszék fennállásának 60. jubileumi évfordulóját. Ezért “ATT 60” különleges szekciót szerveztünk, ahol korábbi és jelenlegi kollégák egyaránt részt vettek. Természetesen emellett a hagyományos témakörök is jelen voltak, a magyar és angol nyelvű tanulmánykötet e magas színvonalú publikációkat is bemutatja. A közlemények témái szerteágazóak, jól tükrözik napjaink izgalmas kutatási trendjeit és irányait. A szerzőknek, valamint a támogatóknak köszönetet mondva, reméljük, hogy kötetünk sokszínűsége, és tartalmi gazdagsága minden olvasó érdeklődését felkelti; hasznos információforrást nyújt az akadémiai és vállalati szektorban dolgozó szakemberek számára. Sok sikert és örömet kívánunk az olvasáshoz, tanulmányozáshoz!

Budapest, 2023. december 15.



Prof. Dr. Rajnai Zoltán

Dékán

ESB Fővédnöke

Greetings

Following the tradition of the past decades, this year's ESB - Engineering Symposium at the Bánki successfully attracted representatives from different research fields. The conference volume, which is a compilation of the papers presented this year, has now been prepared with a real specialty. In 2023, the Department of Materials Science will celebrate its 60th anniversary. For this reason, we have organized a special session, "ATT 60" with the participation of former and current colleagues. Of course, the traditional topics were also covered, and the volume of papers in Hungarian and English presents these high-quality publications. The papers cover a wide range of topics, reflecting the exciting research trends and directions of today. With thanks to the authors and supporters, we hope that the diversity and richness of the content of this volume will be of interest to all readers and provide a useful source of information for professionals in the academic and corporate sectors.

Budapest, December 15, 2023



Prof. Dr. Zoltán Rajnai

Dean

Patron of ESB

Tudományos bizottság / Committees

Tiszteletbeli elnök / Honorary chair

Levente KOVÁCS, Óbuda University, Hungary

Általános elnök / General chair

Zoltán RAJNAI, Óbuda University, Hungary

Tudományos bizottság elnöke, Scientific committee chair

Richárd HORVÁTH, Óbuda University, Hungary

Tudományos bizottság, lektorok / Scientific committee, peer reviewers

András ZACHÁR, Óbudai University, Hungary

Anna Tünde KOVÁCS, Óbuda University, Hungary

Ágota DRÉGELYI-KISS, Óbuda University, Hungary

Árpád CZIFRA, Óbuda University, Hungary

Edit LAUFER, Óbuda University, Hungary

Enikő Réka FÁBIÁN, Óbuda University, Hungary

Endre RUSZINKÓ, Óbuda University, Hungary

Erzsébet ANCZA, Óbuda University, Hungary

Gabriella FARKAS, Óbuda University, Hungary

György CZIFRA, Óbuda University, Hungary

Gyula BAGYINSZKI, Óbuda University, Hungary

István NAGY, Óbuda University, Hungary

Istvánné RÁTHY, Óbuda University, Hungary

József GÁTI, Óbuda University, Hungary

Judit, LUKÁCS, Óbuda University, Hungary

Gyula SZABÓ, Óbuda University, Hungary

József Zoltán SZABÓ, Óbuda University, Hungary

László HANKA, Óbuda University, Hungary

László POKORÁDI, Óbuda University, Hungary

Mihály RÉGER, Óbuda University, Hungary

Péter PINKE, Óbuda University, Hungary

Péter VARGA, Óbuda University, Hungary

Tamás RÉTI, Óbuda University, Hungary

Tamás SZAKÁCS, Óbuda University, Hungary

Tibor KOVÁCS, Óbuda University, Hungary

Viktor GONDA, Óbuda University, Hungary

Szervezés / General organizer

Judit LUKÁCS, Óbuda University, Hungary

Tartalomjegyzék / Contents

ATT 60 szekció /ATT 60 Section

Gáti József	11
A Mechanikai Technológia Tanszék alapításától napjainkig	
Kovács Tünde Anna	33
Az anyagtudomány és anyagtechnológia az oktatásban és a kutatásban az ATT-n	
Bagyinszki Gyula	39
A hegesztéstechnológia szerepe a Tanszék szakmai profiljában	
Pinke Péter	49
Az Anyagtechnológiai Tanszék szerepvállalása a közelmúlt konzorciumi projektjeinek megvalósításában	
Réger Mihály, Borsa Judit	55
Az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola	
Hargitai Hajnalka	61
Új lehetőségek az anyagtudományi kutatásokban a SZE ATT tanszékkel	
Béres Gábor József	67
Nevek, célok, változások	
Kocsisné Baán Mária, Török Imre, Lukács Zsolt	73
Hatvan év emlékei az ATT és ATI között	
Pázmán Judit	81
Dunaujvárosi Egyetem anyagtudományi kutatásai és közös projektek kialakítása az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karral	
Reé András	87
Műegyetemi kapcsolat az indulásnál	

Angol szekció / English Section

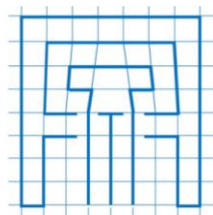
Ahmed Douzi, Judit Lukács	92
5G technology and its impacts towards road safety and Autonomous Cars	
Bakhtyar Saleh Ahmmad, Eszter Horvath-Kalman	99
Concrete Challenges in the Sky and Risk Management for High-Rise Design structural building	
Árpád Czifra	107
Topological maps for characterisation of engineering surfaces	

Emőke Imre, Delphine Kabey	111
Some notes on the use of a constitutive law for sands	
Emőke Imre, Phong Q. Trang, János Lőrincz, Kárpáti László, Miklós Gálos, Daniel Barreto	115
Breakage rate measuring – a rock classification alternative?	
Emőke Imre	121
Some comments on the oedometric relaxation test	
Emőke Imre	127
Soil profiling from rheological CPT data	
Anett Forgács, Judit Lukács, Lívia Mondics-Kurmay, Richárd Horváth	133
Examining online purchasing patterns through the utilization of a fuzzy inference system.	
Istvan Gal, Zoltan Hima, Andrea Tick	139
Production's risk mitigation on the field of Automotive Industry	
Pusta Jalalova, Maria Berkes Maros	151
Some Insights into the Scratch Resistance Assessment of Polycrystalline Diamond Coatings	
Fruzsina Fülöp, Maria Berkes Maros	159
Effect of loading conditions on the scratching behaviour of a TiBN and different DLC top-layered coatings applied on X210Cr12 cold work tool steel	
Nikola Komatina, Aleksandar Aleksić, Snežana Nestić	169
Improving workforce deployment in fruit buying stations: A fuzzy decision-making framework	
Kristóf Stölczér, Tamás Szádeczky	175
<i>Interconnection between industrial safety and cybersecurity</i>	
Márton Péter Kiss, Ildikó Molnár	180
Rear upright developed for a Formula Student racing car	
Norbert Daruka, László Szalkai	186
Vehicle explosives and explosive device detection methods at outdoor public events	
Sara Ines Moussaoui, Péter Pinke, János Dusza	192
High Entropy Ceramics: A Brief Introduction	
Levete Széles, Richárd Horváth	200
The effect of symmetrical horizontal gradient design on a novel lattice structure	
Omar Trabelsi, Tünde Anna Kovács	210
Risk assessment of electric cars from the point of view of European Union parking regulations	

Magyar szekció / Hungarian Section

Szell Attila, Horváth Richárd, Berkes Maros Mária CrN bevonatok keménységének változása oxigén dópolás hatására	217
Bunyitai Ákos, Daruka Norbert A fizikai és kémiai robbanás összefüggései	226
Fábián Enikő Réka A nikkellel való ötvöztetés hatása a hidegen hengerelt léces martenzites acélok újrakristályosodási hajlamára	232
Takács Sándor, Fábián Enikő Réka Bórral mikroötvözött acélok hőkezelést követő anyagvizsgálata	238
Hareancz Ferenc, Juhász Gergely, Fábián Enikő Réka, Vida Ádám Nagy-entrópiájú ötvözetek alkalmazhatóságának lehetőségei	246
Imre Emőke A többlépcsős kompressziós kísérlet – gyorsabban	254
Inger Ádám, Rácz Péter, Dombi Péter Magas roncsolási küszöbű femtoszekundumos lézertükrök tesztelése	260
Juhász Gergely, Hareancz Ferenc, Fábián Enikő Réka, Vida Ádám Lehetőségek a nagy-entrópiájú ötvözetek tervezésére	266
Kartali Gabriella A látássérülteket veszélyeztető körülmények vizsgálata	274
Kertész József, Kovács Tünde Anna Anyag- és gyártástechnológiai trendek a korszerű járművek tömegoptimalizációja érdekében	280
Kertész Olivér Gábor, Tóth László Alumínium öntőszerszám élettartamának növelése megfelelő hőkezelési technológia alkalmazásával	286
Kohlheb Róbert, Horváth Richárd, Réger Mihály Fém-polimer anyagpárok közötti súrlódás jellemzése különböző sebesség és felületi nyomás mellett	293
Koroknai László, Kuzsella László, Pór Gábor Hengerelt acéllemezen történő akusztikus emissziós vizsgálat mozgó mechanizmussal	299
Langer Ingrid Színlátás vizsgálati eredmények kiértékelése fuzzy következtetési rendszer alkalmazásával	302

Leitner Miklós, Elek Barbara, Daruka Norbert Technológiai üzemállapotok figyelembevétele robbanásvédelmi kockázatértékelés során	308
Lőrincz László Intézményi műtárgyvédelem: bevezetés a közgyűjteményi raktározásba	314
Nagy Rudolf Égésálló anyagok és változó kihívások	318
Oláh Ferenc, Horváth Richárd, Réger Mihály Brinell és Vickers keménységmérés során kialakuló hidrosztatikus mag és képlékeny zóna jellemzése	333
Pintér Péter, Szabó József Zoltán Hőkamera alkalmazásának lehetőségei alkatrészek meghibásodásának előrejelzésében	340
Rákóczi Barbara Mónika Szennyvíztisztító telepek biztonsági elvárásai	345
Répás József Cloud Forensics módszertan alkalmazásának vizsgálata magas automatizáltságú járművek szakértői vizsgálatában	349
Simon Mátyás, Daruka Norbert, Szabó Gyula Az orvosi gázok veszélyei az egészségügyi kritikus infrastruktúrák tekintetében	355
Stadler Róbert Gábor, Horváth Richárd Eltérő polimer lemezek kavaráó dörzshegesztésének erőtani vizsgálata	361





A Mechanikai Technológia Tanszék alapításától napjainkig

From the founding of the Department of Mechanical Technology to the present day

¹Gáti József,

¹Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest
Magyarország, gati@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az 1960-as évek elején a műszaki tudományok rohamos fejlődése szükségessé tette a hazai műszaki felsőoktatás fejlesztését. Az egyetemi szintű képzés mellett a szakemberképzés igényeinek kielégítése érdekében új felsőoktatási intézménytípus jött létre, a felsőfokú technikum. A felsőfokú technikumok feladata az ipar, az építőipar, a közlekedés, a mezőgazdaság, a kereskedelem és az egészségügy egyes szakterületei számára korszerű elméleti és gyakorlati felkészültségű, felsőfokú ismeretekkel rendelkező szaktechnikusok képzése. 1962. október 1-jén megalakult az Kormány rendeletére a budapesti Felsőfokú Gépipari Technikum a Bánki Donát Gépipari Technikum Népszínház utcai épületében. Egy évre rá hozták létre az intézményben az ország harmadik Mechanikai Technológia Tanszékét. A cikk az alapítás óta eltelt 60 év legfontosabb történéseit foglalja össze.

Kulcs szavak: Mechanikai Technológia Tanszék

Abstract

At the beginning of the 1960s, the rapid development of technical sciences necessitated the development of domestic technical higher education. In addition to university-level training, a new type of higher education institution, the higher technical school, was created to meet the needs of professional training. The task of the higher technical schools is to train technical technicians with advanced theoretical and practical preparation and advanced knowledge for certain fields of industry, construction, transport, agriculture, commerce and healthcare. On October 1, 1962, by decree of the Presidential Council, the Higher Technical Technical School of Engineering in Budapest was established in the building of the Bánki Donát Technical School of Engineering in Népszínház street. The country's third Department of Mechanical Technology was established at the institution for one year. The article summarizes the most important events of the 60 years since the Department was founded.

Keywords: Department of Mechanical Technology

1. Bevezetés – intézménytörténelmi áttekintés

Trefort Ágoston vallás- és közoktatási miniszter 1877. szeptember 10-én rendelte el a **Budapesti Állami Közép Ipartanoda** létesítését, mely építészeti, gépészeti és vegyészeti szakosztállyal **1879. december 7-én** nyitotta meg kapuit a Bodzafa utca 28. alatt. A tanuló létszám

A rövid intézménytörténeti áttekintés végén álljon itt egy közel 110 évvel ezelőtti idézet, melyet Hegedűs Károly, a Felsőipariskola igazgatója 1914-ben, nyugdíjba vonulásakor írt jelentésében: „Múlhatatlanul szükséges minél előbb gondoskodni az intézet mai fejlettségének és még várható fejlődésének megfelelő új épületről. Ez az intézet ebből, a már ósdivá lett szűk épületből kinőtt és a kifejlődött nagy utcai forgalom folytán környéke is annyira állandóan zajossá lett, hogy ez az épület napi 8–10 órai tanításnak – amely benne folyik – céljaira tovább nem alkalmas. Nem volna alkalmas még akkor sem, ha az iskola a Technológiai Iparmúzeum épületét is átvénné...” [3].

2. A Mechanikai Technológia Tanszék létesítése

A 83 évig tartó középfokú szakemberképzést követően a 12/1962. kormányrendelet megjelenését követően kezdődött meg az áttérés a műszaki felsőoktatásra. A rendelet 1. §-a meghatározta a felsőfokú technikumok feladatát, ennek melléklete a Kohó- és Gépipari Minisztérium (KGM) felügyelete alá rendelte az új budapesti Felsőfokú Gépipari Technikumot (FGT). Az intézmény a Bánki Donát Gépipari Technikum Népszínház utca 8. alatti épületében kezdte meg működését. Az első tanévben esti tagozaton gyártástechnológia és üzemszervezési szakon indult meg a képzés 1962. október 1-jén. A kezdeti időszakban a Felsőfokú Technikumnak három főállású tanára volt, Gáti Zoltán igazgató, Fekete István és Selmeczi Ferenc tanszékvezető tanárok.



3. ábra Dr. Vojnich Pál

1963-ban kapott megbízást a Mechanikai Technológia Tanszék létesítésére és vezetésére **dr. Vojnich Pál**, a Ganz-Mávag Mozdony-, Vagon- és Gépgyár Anyagvizsgáló és Technológiai Kutató Laboratórium vezetője másodállásban, akit 1964. áprilisában Dr. Horgos Gyula KGM miniszter mellékfoglalkozásként felsőfokú technikumi tanárrá nevezett ki.

Fő feladata a tanszéki oktatás megszervezése, új oktatók felvétele, a profilba tartozó szaktárgyak elméleti és gyakorlati képzésének kialakítása, jegyzetek megírása és megíratása volt.

Az FGT Mechanikai Technológia Tanszék megalakulását követően az oktatási feladatokat többségében a BME Mechanikai Technológia Tanszék oktatói óraadóként látták el, így Reé András, Czoboly Ernő, Havas István, Becker István, Skriba Zoltán, biztosította szaktárgyak oktatását. Hozzájuk csatlakozott 1964-ben szintén óraadóként Márton Tibor, a KGM Oktatási Főosztály munkatársa. A tanszék első főállású oktatója Dévényi Györgyné (1964) volt, hozzá csatlakozott 1966-ban Czinege Imre, és Libertiny Gáborné, 1967-ben Kovács Mihály, és Márton Tibor, 1968-ban Fücsök Ferenc, illetve 1969-ben Kovács Ágoston. 1966-tól néhány éven keresztül a Vasipari Kutató Intézet munkatársai is – elsősorban Verő Balázs, Bacskai Antal, Gergely Márton és Tardy Pál – tevékeny szerepet vállaltak az oktatási feladatok ellátásában.

Vojnich Pál kiemelkedő érdeme, hogy a tantervek és tananyagok, valamint a laboratóriumi háttér megteremtése során nem „kis egyetem” programot valósított meg, hanem gyakorlatorientált képzés kialakításával az üzemi feladatok megoldására képes szakemberek képzését tűzte célul és valósította meg. Megírta a Tanszék első „Felsőfokú Technikumi jegyzeteit”, melybe bevonta a további szakterületek oktatóit is.



Dévényi Györgyné



Czinege Imre



Libertiny Gáborné



Kovács Mihály



Márton Tibor



Fücsök Ferenc



Kovács Ágoston

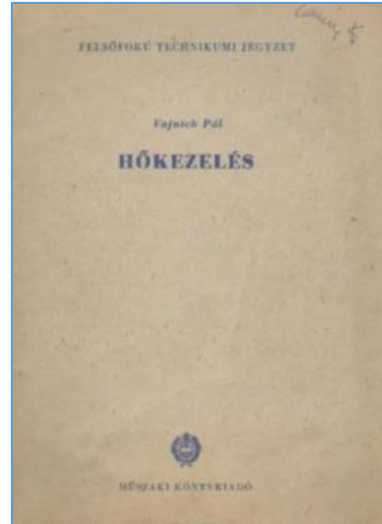
4. ábra Mechanikai Technológia Tanszék első főállású oktatói [7]

Az első tanszéki jegyzetek az alábbiak voltak:

- Vojnich Pál: Anyagszerkezetan I. Metallográfia (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.),
- Vojnich Pál: Anyagszerkezetan II. Anyagvizsgálat (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.),
- Vojnich Pál: Anyagszerkezetan III. Szerkezeti anyagok (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.),
- Vojnich Pál: Hőkezelés, (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.),
- Becker István: Hegesztés, (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.),
- Skriba Zoltán: A fémek képlékeny alakításának technológiája (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.).



Műszaki Könyvkiadó, 1964.



Műszaki Könyvkiadó, 1965.

5. ábra Az első tanszéki jegyzetek

A Tanszék munkatársai a szakmai ismereteiket tanfolyami képzés keretében is kamatoztatták, évente 12-12 láng- és ívhegesztő-, illetve alumíniumhegesztő-, valamint 2-2 durvaszerkezeti röntgen és izotópos tanfolyamot szerveztek.

1967-ben a Kohó- és Gépipari Minisztérium az FGT Mechanikai Technológia Tanszék vezetésével mellékfoglalkozásban, majd később főállásban Márton Tibor felsőfokú tanárt bízta meg. A középfokú technikusképzés kifizető évfolyama 1968-ban végzett az iskolában és ezután teljesen a „felsőfokú képzés” vette birtokába az épületet. Az 1965 és 1969 között jelentős épület-átalakításokat, bővítéseket végeztek: a középiskolai osztálytermekből előadótermeket, gyakorló-tantermeket és laboratóriumokat hoztak létre, megépítették a nagy előadótermet, több mint 20 laboratóriumot alakítottak ki. A tanszéki oktatási rendszer megerősítésével, szakok és ágazatok tanterveinek kidolgozásával, a tantárgyprogramok korszerűsítésével, a tananyagok rendszerezésével készült az intézmény a váltásra.

3. A Tanszék fejlődése, a főiskolai képzés kialakítása

Az Elnöki Tanács 1969. évi 25. számú törvényerejű rendelete (1969. augusztus 31.) intézkedett a Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola létesítéséről [4]. A rendelet szerint „A budapesti Felsőfokú Gépipari Technikumot műszaki főiskolává kell átszervezni. A műszaki főiskola elnevezése: Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola. A Főiskola feladata

- a gépipari gyártás műszaki előkészítésének,
- a gyártási folyamatának tervezésének,
- az egyszerűbb gyártóeszközök tervezésének és gyártásának,
- a gyártó-szerelő üzemek vezetésének és szervezésének,
- a termelés programozásának és irányításának,
- a termelést kiszolgálóüzemek irányításának és gépi berendezései üzemeltetésének irányítására alkalmas műszaki szakemberek képzése.”

A főiskola indításakor oktató-nevelő és a tudományos-kutató tevékenység hét tanszéken, köztük a **Mechanikai Technológiai Tanszéken** kezdődött meg. 1969. szeptember 1-től a Tanszék vezetőjévé Márton Tibor főiskolai tanárt nevezte ki Dr. Polinszky Károly művelődésügyi miniszterhelyettes.

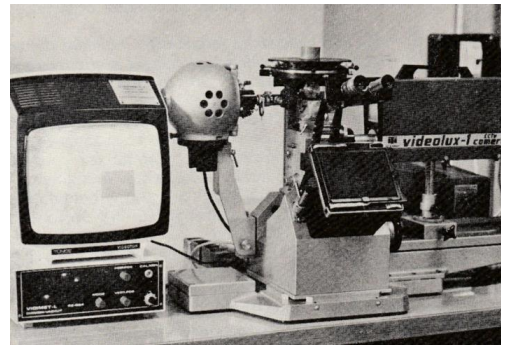
A főiskola indításakor az oktató és a tudományos-kutató tevékenység hét egységben, – így a Gépgyártástechnológia-, a Gép- és Gépszerkeztan-, a **Mechanikai Technológia**-, a Műszaki Alaptárgyi-, a Rendszerszerkezési-, a Természettudományi-, valamint a Társadalomtudományi **Tanszéken** – kezdődött meg. A képzés **gépgyártástechnológia**-, általános gépész-, rendszerszervező-, és műszaki tanár szakon folyt. A Tanszék fő oktatási területe a gépgyártástechnológia forgács nélküli alakítás ágazatos hallgatók képzése. A **szakon oktatott tárgyak**

- Anyagszerkeztan I. – Metallográfia
- Anyagszerkeztan II. – Anyagvizsgálat
- Anyagszerkeztan III. – Szerkezeti anyagok technológiája
- Hőkezelés
- Hegesztés (technológiája)
- Forgácsnélküli alakítás technológiája
- Forgácsnélküli alakítás gépei voltak.

Az általános gépész szakon a „*Fémek technológiája*” tantárgy keretében került ismertetésre a „*Metallográfia*”, az „*Anyagvizsgálat*”, a „*Szerkezeti anyagok*” és a „*Hőkezelés*”. A rendszerszervező és a műszaki tanár szakon „*Anyagismeret és technológia*” tantárgy összegezte az ismereteket.



6. ábra Hallgatói gyakorlat a metallográfiai laborban



7. ábra Vidimet típusú szövetelem mérő berendezés

1972-ben kezdődött a **Hegesztő Műszaki Szakemberek Továbbképző Tanfolyama**, melynek során 252 elméleti és 64 gyakorlati foglalkozást követően a résztvevőknek 5 órás írásbeli, majd szóbeli vizsgát kellett tenniük három tantárgyból: anyagismeret+anyagvizsgálatból, hegesztéstechnológiából és hegesztett szerkezetekből. A képzés iránti igényt jelezte, hogy 1972 és 1975 között 20 tanfolyam került lebonyolításra, melyen 700 fő vett részt, ebből 564 fő (80%) szerzett képesítést.

A főiskola 1979-ben, az intézmény alapításának 100. évfordulója alkalmából kiadott évkönyve az alábbiakban foglalta össze a Tanszék tevékenységét [5].

A tanszék a főiskola hallgatóival a hároméves képzési idő alatt állandó kontaktusban van. A hallgatók az első félévtől az utolsóig minden szemeszterben hallgatnak valamilyen tantárgyat a tanszék előadásában. A tanszék célja, hogy oktatásának hat féléven keresztül alapos elméleti és gyakorlati felkészültséget nyújtson a főiskola hallgatóinak a fémes anyagok szerkezetét, ezzel összefüggő tulajdonságait, kezelhetőségét és gazdaságos felhasználását illetően.

További feladatként megismerteti a hallgatókkal a korszerű hőkezelési, hegesztési, képlékeny alakítási folyamatokat, ezek tervezését, valamint gyakorlati kivitelezését.

1979-ben a Mechanikai Technológiai Tanszék oktatói: Berecz András tanársegéd, Dr. Czinege Imre docens, Dévényi Györgyné docens, Fücsök Ferenc adjunktus, Horváth László tanársegéd, Dr. Kisfaludy Antal docens, Kovács Ágoston docens, Kovács Mihály adjunktus, Libertiny Gáborné tanár, Dr. Márton Tibor tanszékvezető tanár, Dr. Poprócsi István docens, Rozsnoki László tanársegéd, Dr. Sárossy György adjunktus, meghívott előadók: Skriba Zoltán nyugdíjas főmérnök, Dr. Vojnich Pál főmérnök, Mátay László főmérnökhelyettes.

A felsőoktatás fejlesztéséről szóló kormányzati intézkedések eredményeképpen a főiskola a szakosodási rendjét megtartva 1983-84-es tanévtől kezdődően új tanterveket vezetett be. A Mechanikai Technológiai Tanszék munkatársai a *Fémten és hőkezelés*, a *Fémten és technológia*, a *Forgácsnélküli alakítás technológiája*, a *Hegesztés*, valamint a *Forgácsnélküli alakítás gépei* tantárgyakat oktatták.

Az 1985-86-os tanévben lezárult az új tanterv első ciklusa, a tapasztalatok, a felsőoktatás távlati fejlesztési koncepciója és a főiskola hosszú távú fejlesztési terve alapján kidolgozott képzési tagozódás valamennyi szakot érintette, így a Gépgyártástechnológia szak korábbi két ágazata hatra bővült az alábbiak szerint

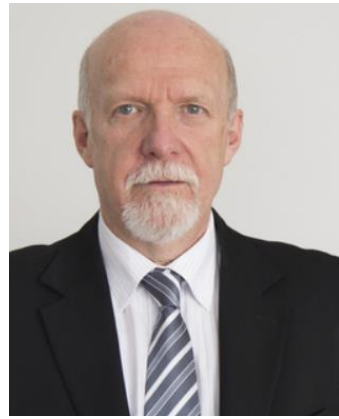
- Forgácsoló ágazat,
- **Forgácsnélküli alakító ágazat**,
- Gyártóeszköz-szerkesztő ágazat,
- NC technológus ágazat,
- Gyártásszervező ágazat,
- **Hőkezelő-hegesztő ágazat**.

1987. július 1-jétől az átalakítás a szervezetet is elérte, a korábbi kilenc tanszék helyett négy **vertikális intézet** kezdte meg működését. A Mechanikai Technológia Tanszék megszűnt, a Gépgyártástechnológiai Intézet szervezetén belül – a korábbi tanszéki szakosodási rendszernek megfelelő – két szakcsoport Dr. Kisfaludy Antal vezetésével a **Fémteni-**, és Dr. Czinege Imre intézeti kutatási igazgatóhelyettes irányításával a **Forgácsnélküli Alakítási Szakcsoport** jött létre. Dr. Angyal Béla főigazgató Dr. Márton Tibort főigazgató-helyettesé, Dr. Gáti Józsefet Pusztai Ferenc, a Művelődési Minisztérium miniszterhelyettese, a főiskola főtítkárává nevezte ki.

A Fémteni szakcsoport keretében a Metallográfiai-, a Hőkezelési-, a Fárasztó-, valamint a Hegesztő laboratórium, míg a Forgácsnélküli Alakítási Szakcsoportéhoz a Képlékeny Alakítás-, a Méréselőkészítő-, a Műanyag-, a CAD számítógép laboratórium, és a Szerszámelőkészítő műhely tartozott.



8. ábra Dr. Czinege Imre intézeti
kutatói igazgatóhelyettes



9. ábra Dr. Gáti József BMF főtitkár

A tanszéki szervezet kialakítása, a főállású oktatók alkalmazása, a képzési programok és a tananyagok, a tankönyvek kidolgozása mellett az 1970-es évektől egyre bővülő kutató-fejlesztő tevékenység folyt, melynek eredményei megmutatkoztak a szabadalmi tevékenységben. 1970. és 1990. között az alábbi találmányok születtek (az Lsz. számmal jelzettek szabadalmi oltalmat is kaptak)

- Eljárás golyóscsapágyacélok minősítésére különleges felületi fásasztó-berendezéssel (1972). Lsz.: 161419.
- Eljárás gyorsacélok termomechanikus kezelésére (1975). Lsz.: 170697.
- Betétedzett alkatrészek minősítése mechanikai anyagvizsgálatokkal (1977). Lsz.: 171531.
- Berendezés gördülő felületi igénybevételnek kitett alkatrészek élettartam tulajdonságainak vizsgálatára (1978). Lsz.: 177550.
- Berendezés sík lemezek vágására oldalirányú elfolyatással (1978). Lsz.: 177170.
- Berendezés munkadarabok gyártására hidegfolyatással, alakításkor záródó üreges szerszámban (1978). Lsz.: 176750.
- Univerzális anyagvizsgáló berendezés (1983).
- Mérőberendezés volfrám huzalok üzem közbeni alakító erő vizsgálatára (1984).
- Képlékeny alakító eljárás és szerszám (1986). Lsz.: 202648.
- Eljárás és berendezés energiatermelő atomreaktorban besugárzott próbatest tartó tokok bontására (1987).



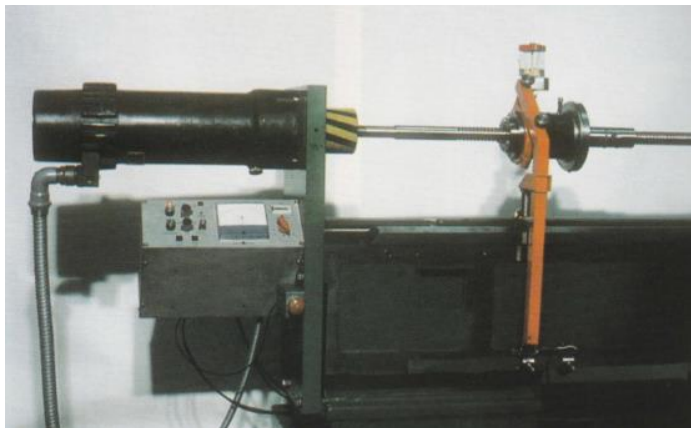
Univerzális húzó-nyomó berendezés



Képlékeny alakító eljárás és szerszám

10. ábra Szabadalmi okiratok

Az oktatási profil bővítésével 1991-ben az intézmény nevéből a "gépipari" jelző kimaradt, a Bánki Donát Műszaki Főiskola átszervezésével visszaállításra került a **tanszéki oktatási rendszer**, az önállósult szervezet az **Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék** nevet vette fel. A Főiskola főigazgatójának Dr. **Czinege Imrét** nevezték ki, a Tanszék vezetését **Dr. Kisfaludy Antal** vette át, aki 1971-ig a Vasipari Kutató Intézet laborvezetője volt. 1997-es nyugdíjba vonulását követően a Tanszék vezetője **Dr. Czinege Imre** lett.



11. ábra A tanszéken kifejlesztett golyósorsó fársztó berendezés [6]

A szerkezeti és szerszámanyagok, valamint a technológiák fejlődése a fémes anyagokra koncentrált oktatás kiterjesztését igényelte a polimerek, a kerámiák és a kompozitok irányába. Emellett a szakok köre is bővült, bevezetésre került a műszaki menedzser, a biztonságtechnikus, valamint az informatikus képzés, melyek a hagyományos mechanikai technológia oktatás tematikájának átdolgozását, új tananyagok kidolgozását, tette szükségessé.

Tantárgy neve	Tárgyfelelős
Anyagtudomány I-II.	Dr. Réger Mihály
A gyártástechnológia alapjai I.	Dr. Kisfaludy Antal
Kötés- és alakítástechnológia	Dr. Kovács Mihály
Kötéstechnológia	Dr. Sárossy György
Alakítástechnológia és gépei	Dr. Gáti József
Anyagtechnológiák számítógépes tervezése és irányítása	Dr. Horváth László
Termelési folyamatok I.	Dr. Réti Tamás
Gyártási eljárások	Bagyinszki Gyula
Anyag- és gyártásismeret	Dr. Gáti József
Anyagtechnológiai informatika	Dr. Kovács Mihály
Anyag- és gyártásismeret I-II. (angol nyelvű képzés)	Dr. Réti Tamás
Mérnöki anyagok . (angol nyelvű képzés)	Dr. Czinege Imre
Anyag- és gyártásismeret III. (angol nyelvű képzés)	Dr. Réger Mihály
	Dr. Réti Tamás

12. ábra A tanszéki képzési program új tárgyai és tárgyfelelősei

A korszerűsített tananyagok megkövetelték az új főiskolai jegyzetek megírását és kiadását (13. ábra).

Dr. Kisfaludy Antal, Dr. Réger Mihály, Tóth László: Szerkezeti anyagok I-III., 1994.
Dr. Kisfaludy Antal, Dr. Réti Tamás, Tóth László: Anyagtechnológia I., 1994.
Dr. Gáti József, Dr. Horváth László, Dr. Kisfaludy Antal, Dr. Réger Mihály, Tóth László: Anyagtechnológia II. 1994.
Dr. Horváth László: Képlékenyalakító technológiák elméleti alapjai, 1998.
Bagyinszki Gyula: Anyagismeret és minősítés. 1996.
Bagyinszki Gyula: Forgácsnélküli anyagtechnológiák. 1999.
Dr. Horváth László: Képlékenyalakítási alapfeladatok elemzése a képlékenységtan módszerével. 1997.
Dr. Gáti József, Dr. Kovács Mihály: Kötéstechnológiák. 1999.

13. ábra 1990-1999. között készült új jegyzetek [6]

Ezen időszakban meghatározóvá vált a nemzetköziesítés tényezője, mely a kétoldalú kapcsolatok fejlesztése mellett új képzési modell bevezetésére, illetve az intézményi menedzsment fejlesztésére irányuló nemzetközi projektekkel valósult meg. Az 1990-es évek nemzetközi projektjei az alábbiak

- **Implementation of Integrated Engineering Degree Programme at Hungarian Higher Education Institutes. 1993-1996.** TEMPUS SJEP 3145. Az Integrált Mérnök képzés főiskolai (BEng) szintjének bevezetése a BDMF, GAMF, SZIF főiskolákon és egyetemi

(MEng) szintjének adaptálása a BME-n. Külföldi partnerek: The Nottingham Trent University, Polytechnic Milano.

- **Strengthening Inter-College Cooperation in Hungary. 1993-1995.** Holland-magyar felsőoktatás menedzsment program és szeminárium sorozat. Külföldi partner: HOBEON Group.
- **Implementation of Quality Assurance System in Three Hungarian Polytechnics. 1994-1996.** TEMPUS SJEP 08006-94. Minőségbiztosítási rendszer kidolgozása a BDMF-n, GAMF-on és a SZIF-en. Külföldi partnerek: Dalarna University, Groningen Polytechnic, Polytechnic Madrid.
- **Integrated Undergraduate Training for Engineers.** LEONARDO HU/97/1/43003. Tantervek, minőségbiztosítási rendszer és technológiai felmérés a gépész- és informatikai főiskolai mérnökképzéshez. Külföldi partnerek: Dalarna University, Mayo Institute of Technology, The Nottingham Trent University.

Ezen projektek kidolgozásával párhuzamosan folyt az angol nyelvű képzési programok, tananyagok kidolgozása és az idegennyelvű képzések beindítása. Az évtized utolsó éveiben a főiskola átlagos hallgatói létszáma 985-1110 fő között mozgott.

1993-ban – az Európai Hegesztési Szövetség irányelvei alapján – a hegesztő műszaki szakember képzés tanterve átdolgozásra került. Az óraszám 340 órára emelkedett és a képzés hegesztőtechnológus néven bekerült az Országos Képzési Jegyzékbe.



14. ábra Az európai hegesztő technológus képzés EWF tanúsítványa

Az Európai Hegesztési Szövetség (EWF) akkreditációja és felhatalmazás alapján 1999-től elsőként indult európai hegesztő technológus (European Welding Technologist - EWT) képzés a Tanszéken. 2023-ig 24 tanfolyam került megszervezésre, melyen 570 fő szerzett képesítést [10].



15. ábra Hazánk első Európai Hegesztőtechnológus diplomát szerzett szakemberei csoportja Dr. Kovács Mihály tanfolyamvezetővel [6]

4. Az integrált intézményi modell – a Budapesti Műszaki Főiskola

A Magyar Országgyűlés a felsőoktatási intézményhálózat átalakításáról hozott 1999. évi LII. törvényének megfelelően - a Bánki Donát Műszaki Főiskola, a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola és a Könnyűipari Műszaki Főiskola integrációjával - 2000. január 1-jével megalakult a Budapesti Műszaki Főiskola.

Az integrációs folyamattal egyidejűleg zajló, tisztán szakmai alapon megvalósuló kari akkreditáció eredményeképpen a főiskola ötkarú oktatási intézménnyé alakult át, így a képzési és kutatási tevékenység a Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar, a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Főiskolai Kar, a Keleti Károly Gazdasági Főiskolai Kar, a Neumann János Informatikai Főiskolai Kar, valamint a Rejtő Sándor Könnyűipari Mérnöki Főiskolai Kar keretében folyt. A hallgatói létszám 2000-ben 9077 fő volt, melyből a Gépészmérnöki Főiskolai Karon 1096-an folytattak tanulmányokat [8].

A főiskola a Bologna folyamat megvalósításának első lépéseként megkezdte a felkészülést az új kétciklusú felsőoktatási képzési rendszerre történő átállásra. Kidolgozásra kerültek a kredit-tantervek, megtörtént a Neptun egységes tanulmányi rendszer bevezetése, a 2002/2003. tanév indításával az új tantervek alkalmazásával indult meg a képzés.

A Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Karon az oktatás **gépészmérnöki, mérnök-tanár**, valamint **biztonságtechnikai szakon** folyt. A képzés időtartama általában 6 félév, a biztonságtechnika szakon 7 félév, a mérnök-tanár szakon 8 félév. A gépészmérnöki szakon autótechnika-, CAD/CAM, gépszerkesztő-tervező, és üzemeltető szakirány folyt képzés. A mérnöki szak mellett 2 éves gépipari mérnökasszisztens szak is indult, melynek sikeres elvégzése után, továbbtanulás esetén egy év a főiskolai képzésbe beszámításra került.

A kari szervezet intézeti rendszerben került kialakításra. A gépészmérnöki szak **CAD/CAM szakirányát** gondozó **Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet** keretében - tudományterületi tagozódásnak megfelelően - két intézeti tanszék tevékenykedett. Az **Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék** oktatási tevékenysége az anyagtudomány, a kötés- és alakítástechnológia, az alakítástechnológia és gépei, az anyagtechnológiák számítógépes tervezése területére terjed ki. Kutatási területei közül kiemelhető a kvantitatív metallográfia, a kristályosodási

folyamatok vizsgálata, az anyagvizsgálati célú eszközök fejlesztése és gyártása, a fémteni, hőkezelési és hegesztési folyamatok számítógépes tervezése témakörök.

2002-ben indította a Tanszék az első 222 óraszámú **európai hegesztő specialista** (European Welding Specialist - EWS) képzést. 2023-ig 18 tanfolyamon 310 fő kapott képesítést.



16. ábra ÓE-BGK-CLOOS Robothegeztő Laboratórium

Az integrált főiskola főtitkára Dr. Gáti József főiskolai docens, az Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet igazgató-helyettese Dr. Réger Mihály főiskolai tanár, Az Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék vezetője Dr. Sárosy György lett. 2002-ben Dr. Czinege Imre egyetemi tanárt a Széchenyi István Egyetem rektorának nevezték ki.

Az Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék főállású oktatói (2004. 07. 01.)

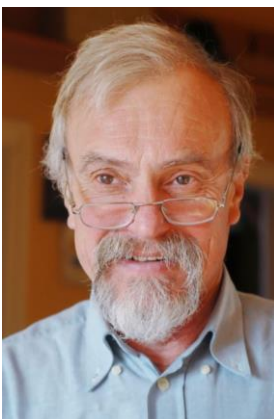
- Dr. Bagyinszki Gyula főiskolai docens
- Borossay Béla tanszéki mérnök
- Dr. Czinege Imre egyetemi tanár
- Dr. Gáti József főiskolai docens
- Dr. Horváth László főiskolai docens
- Dr. Kisfaludy Antal főiskolai tanár
- Dr. Kovács Mihály főiskolai docens
- Kovács Tünde főiskolai adjunktus
- Dr. Réti Tamás egyetemi tanár
- Dr. Sárosy György főiskolai docens.

A tananyag korszerűsítési folyamat során 2007-ben új tantervek készültek melynek eredményeképpen a Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar képzési kínálatát az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat A főiskolai kar képzési programja

Szak	Szakirányok
Biztonságtechnikai mérnöki MSc	biztonságtechnikai-rendszer tervező biztonságvédelmi-rendszer szervező
Gépészmérnöki	CAD-CAM-CNC Géptervezés Járműtechnika
Had- és biztonságtechnikai mérnöki	Biztonságtechnikai
Mechatronikai mérnöki (angol nyelven is)	Nanotechnika Robot rendszerek
Mérnökstanári 9 vagy 10 féléves képzés – a szakiránytól függően	Had- és biztonságtechnikai mérnök szakos tanár Gépészmérnök szakos tanár Könnyűipari mérnök szakos tanár Műszaki informatika szakos mérnökstanár Műszaki menedzser szakos tanár
Kiegészítő mérnökstanár (távoktatási formában)	
Műszaki szakoktató (csak levelező tagozaton)	
Gépipari mérnökasszisztens	

A mesterképzés megindításával 2007. januárjától a Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar új megnevezése Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar lett. Dr. Gáti József kancellári kinevezést kapott, Dr. Réger Mihály a Kar dékánhelyettese lett. Az Anyag- és Alakítástechnológiai Tanszék Szakcsoportként folytatta tevékenységét, vezetője Dr. Bagyinszki Gyula, majd 2010-től Dr. Kovács Mihály [9].



Dr. Sáróssy György



Dr. Bagyinszki Gyula



Dr. Kovács Mihály

17. ábra Az Anyag- és Alakítástechnológia Tanszék/Szakcsoport vezetői

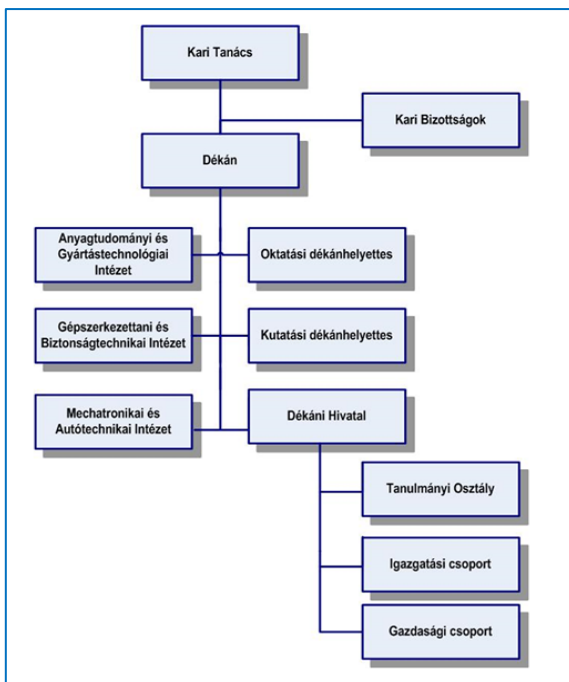
5. Óbudai Egyetem 2010. január 1.

Az Országgyűlés 2009. november 23-án elfogadta a felsőoktatásról szóló 2005. évi CXXXIX. törvény módosításáról szóló törvényjavaslatot, miszerint

45. § „Az Ftv. 1. számú mellékletében az „Állami egyetemek” alcím az „Óbudai Egyetem, Budapest”, továbbá ... szövegrésszel a magyar abc által meghatározott felsorolás rendje szerint egészül ki.”

49. § „Hatályát veszti az Ftv. 1. számú mellékletében az „Állami főiskolák” alcím „Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest”... szövegrésze.”

A megalakuláskor az Egyetem oktatási-kutatási és tudományos szervezete öt karból, két oktatási feladatot ellátó központból, két tudásközpontból, valamint egy doktori iskolából (Alkalmazott Informatikai Doktori iskola) állt.



A Bánki Donát Gépezés és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar továbbra is intézeti rendszerben biztosította a képzés és tudományos kutatás feltételeit.

Az Anyagtudományi- és Gyártástechnológiai Intézet szakcsoportokra tagozódott, nevezetesen

- Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport, és
- Gyártástechnológiai Szakcsoport

keretében folytatta tevékenységét.

2015-ben az intézeten belül a szakcsoportok intézeti tanszékké szerveződtek, majd 2022-ben az intézet megnevezése is megváltozott Gépészeti és Technológia Intézetre.

18. ábra A Bánki Donát Gépezés és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar szervezete

Napjainkban feladatainkat a Gépészeti és Technológia Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék keretében látjuk el. Az Anyag- és Gyártástudományi Intézet igazgatói feladatait 2011. és 2015. között Dr. Réger Mihály professzor látta el, aki egyben az Egyetem tudományos rektorhelyettese volt 2016-ig. Réger professzor 2016-2019 között az Óbudai Egyetem rektora, 2020-tól az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola vezetője.



19. ábra Prof. Dr. Réger Mihály rektor
2016-2019.



20. ábra Dr. Gáti József általános
rektorhelyettes 2016-2019.



21. ábra Dr. Rácz Pál az Anyag- és
Gyártástudományi Intézet igazgatója 2015-
2016. között, aki egyben ellátta az Anyag- és
Alakítástechnológiai Szakcsoport vezetését
is



22. ábra Dr. Pinke Péter 2016-tól az
Anyag- és Gyártástudományi Intézet,
majd 2022-től a Gépészeti és
Technológia Intézet igazgatója
napjainkig



Dr. Kovács Tünde Anna
2016-2020.



Dr. Ráthy Istvánné
2020-2023.



Gonda Viktor 2023.
szeptember 1-től

23. ábra Az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék vezetői

Az integrált intézmény létrehozása óta alap- és mesterképzés tantervei folyamatos fejlesztés alatt állnak, a szervezeti egységek által megfogalmazott változtatási igények alapján átdolgozott egyes változatokat betűjelzéssel jelzik. Az új tantervek felmenő rendszerben kerülnek bevezetésre. Az E-tanterv szerinti képzés az első évfolyamokon 2017. szeptemberében indult. Az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék által az **E-tanterv szerint magyar nyelven oktatott tárgyakat** és azok **tantárgyfelelőseit** a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat Az ATT által oktatott tárgyak és tárgyfelelősök

Tárgy neve	Tárgyfelelős
Gépészmérnöki BSc szak	
Anyagtechnológia alapjai	Dr. Pinke Péter
Anyagok és technológiák I.	Prof. Dr. Réger Mihály
Anyagok és technológiák II.	Dr. Pinke Péter
Autóipari kötés- és alakítástechnológia	Dr. Kovács Tünde
Alakítástechnológia és gépei I.	Dr. Gonda Viktor
Alakítástechnológia és gépei II.	Dr. Gonda Viktor
Kötéstechnológia	Dr. Kovács Tünde
Kötés- és Alakítástechnológia	Dr. Kovács Tünde
Anyagtechnológiák számítógépes tervezése	Dr. Mucsi András
Hegesztés gépesítése és automatizálása	Dr. Bagyinszki Gyula
Hegesztett szerkezetek tervezése	Dr. Kovács Tünde
Különleges megmunkálások	Dr. Gonda Viktor
Korszerű technológiák	Dr. Gonda Viktor
Korszerű felületnemesítő eljárások	Dr. Bagyinszki Gyula
Gépészmérnöki MSc szak	
Anyagtudomány	Prof. Dr. Réger Mihály
Korszerű anyagtechnológiák	Dr. Pinke Péter
Hegesztéstechnológiák I.	Dr. Bagyinszki Gyula
Hegesztéstechnológiák II.	Dr. Bagyinszki Gyula

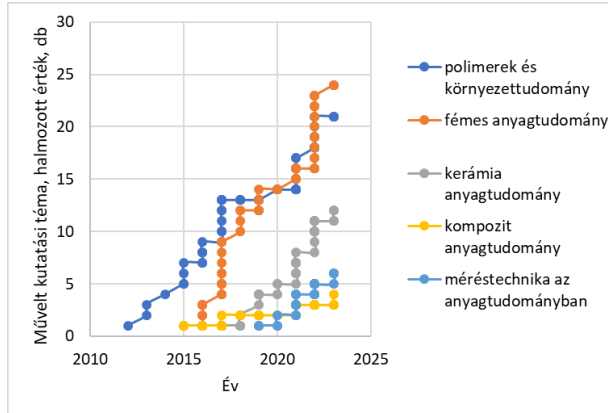
Hőfolyamatok és modellezésük	Dr. Felde Imre
Hegeszthetőség és anyagvizsgálat	Dr. Kovács Tünde
Termikus vágás és bevonatolás	Dr. Bagyinszki Gyula
Különleges hegesztő-eljárások	Dr. Kovács Tünde
Hegesztett szerkezetek és méretezésük	Dr. Barányi István
Korszerű felületnemesítő eljárások	Dr. Bagyinszki Gyula
Mechatronika mérnöki BSc	
Mérnöki anyagok	Dr. Bagyinszki Gyula
Anyagtechnológia alapjai	Dr. Bagyinszki Gyula
Anyagtechnológia	Dr. Bagyinszki Gyula
Mechatronika mérnöki MSc	
Anyagtudomány	Prof. Dr. Réger Mihály
Biztonságtechnikai mérnöki BSc szak	
Anyagismeret	Dr. Fábián Enikő Réka

A fentiek mellett az ATT munkatársai közreműködnek a felsőoktatási szakképzés tanszék profiljába tartozó szaktárgyainak oktatásában is. A 3. táblázat a tanszék által angol nyelven oktatott tantárgyakat és tantárgyfelelőseiket mutatja be.

3. táblázat Az angol nyelven oktatott tárgyak és tárgyfelelőseik

Tárgy neve	Tárgyfelelős
Fundamentals of Materials Technology	Dr. Pinke Péter
Forming Technology and Machines I.	Dr. Gonda Viktor
Forming Technology and Machines II.	Dr. Gonda Viktor
Joining Technology	Dr. Kovács Tünde
Computer-aided Design of Materials Technologies	Dr. Mucsi András
Engineering Materials	Dr. Kovács Tünde
Material Science	Dr. Mucsi András

Az Óbudai Egyetem két tudományterületen **három doktori iskolát** működtet: 2009-től az **Alkalmazott Informatikai Doktori Iskola**, 2012-től az **Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola**, és a **Biztonságtudományi Doktori Iskola**, illetve 2013-tól az **Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola** kezdte meg működését. Ez utóbbi létesítésével megszűnt az Alkalmazott Informatikai Doktori Iskola.



24. ábra Az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola kutatási témái

2011-től, azon mérnökök részére, akik IWT diplomával rendelkeznek és a további kritériumoknak is megfelelnek, 112 órás **nemzetközi hegesztőmérnök** (International Welding Engineer - IWE) **különbözeti képzés** indult. A csak elméleti képzés tananyaga az IWE és IWT tematika közötti különbségét dolgozza fel, rendszerező áttekintéssel kiegészítve. A 13 IWE különözeti képzésen 362 fő vett részt.

Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék az elmúlt évtizedben tovább folytatta K+F tevékenységét a korszerű anyagok és anyagtechnológiák kutatása, fejlesztése terén. A témakörben közel két évtizedes kutatási tevékenység eredményeként különféle anyagtudományi modellek és szimulációs eljárások kerültek kidolgozására, így

- az anyagtudományi modell és szimulációs eljárás a lézeres felület felrakás (cladding) folyamat-oparamétereinek optimalizálására irányult (közös kutatások az Instituto Superior Tecnico, Portugália, egyetemmel);
- a kinetikai modell kidolgozása DP és TRIP acélok interkritikus hőmérsékletű tartományban végbemenő átalakulási folyamatainak leírását jelentette (közös kutatás a Jiao Tong University, Shanghai egyetemmel).

A Tanszék egyik hagyományos kutatási területe a **kristályosodási, öntési folyamatok kísérleti vizsgálatára és matematikai modellezésére** irányult, különös tekintettel az acélok folyamatos öntési technológiájára. A kutatások fő feladata a folyamatos öntés során végbemenő összetett folyamatok tisztázása, azok matematikai modellezése, elsősorban a technológia optimalizálása és a gyártott termék minőségjavítása érdekében.

A TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 **Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások projekt, “Öngyógyító Rendszerek” alprogram** keretében került kidolgozásra

- a **robbantásos fémmunkálás** témakör, mely két- és többretegű fémlemezek gyártási technológiáinak kutatás-fejlesztésére irányult. Kiterjedt a két és többkomponenses fém-fém és fém-kerámia porkompozíciók, valamint a speciális alakú fémcső és fémlemez alkatrészek gyártási technológiáinak vizsgálatára is;

- az **elektrodinamikusan megmunkálások** témakör, melynek keretében elemeztük az alakváltozási sebesség hatását az anyagok alakíthatóságára, kidolgozásra került az elektromágneses alakítás alkalmazása csökötések készítésére, valamint az elektrohidraulikus alakítás szerszámozása és a technológia fejlesztésének lehetőségei;
- a **tulajdonság módosító eljárások** kutatása, mely elsődlegesen a gép-, a jármű-, a hadiipari alkatrészgyártás termékei használati tulajdonságainak, így pl. az élettartam, a terhelhetőség növelésére irányult. A kutatásba bevont eljárások (PVD, CVD, lézer, plazma, vákuum hőkezelés) nem csak új termékek gyártásában, hanem a használt, kopott alkatrészek minőségének növelésére, javítására is alkalmazhatók.

Az anyagtudományi fejlesztések terén további kutatási projektekbe kapcsolódtak be konzorciumi tagként a Tanszék munkatársai, így a kutatás

- a NVKP_16-1-2016-0038 a **fröccsönthető polipropilén alapú tapadást közvetítő kompozitok fejlesztése járműtechnológiai alkalmazásokhoz** projekt keretében az optimális anyagösszetétel meghatározására, a roncsolásmentes és a roncsolásos anyagvizsgálati kísérletsorozatra, az üveggyöngy eloszlás mérésére komputer-tomográfiai anyagvizsgálat-sorozat elvégzésre irányult;
- a 2018-1.3.1-VKE-2018-00041 projektnél **az intelligens, prediktív szerszámfelügyeleti eljárások kidolgozására és rendszer kialakítására, valamint a fejlesztés fenntartására alkalmas kutatási együttműködés létrehozására** irányult;
- a 2019-1.1.1-Piaci KFI-2019-00462 pályázat esetében **az öntvény-mikrohibákat kimutató, gyártásba integrálható, robotizált, új minőségellenőrzési technológia és berendezés kifejlesztése** című kutatás a nyomásos öntéssel készült alumínium öntvények lehetséges szívárgás útvonalainak és mechanizmusainak anyagvizsgálati feltárására, az impregnálás hatékonyságának elemzésére, javítására vonatkozott.

Az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék munkatársai közreműködtek „**Az atomenergia biztonságos alkalmazásának hatósági ellenőrzését szolgáló műszaki megalapozó tevékenységben**”, melynek keretében a reaktortartály gyártástechnológiáját bemutató dokumentáció felülvizsgálatával értékelték a reaktortartály gyártástechnológiáját. Részletes elemzésre került a tartályelemek gyártástechnológiája, az acélgyártási technológia, a kovácsolás, mint alaptéchnológia, valamint a hidrogén okozta pelyhesedés elkerülését célzó technológia lépéssor.

6. ATT emlékezete

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Anyagtechnológiai Intézeti Tanszéke 2023-ban ünnepelte jogelődje, a Mechanikai Technológia Tanszék alapításának 60. évfordulóját.



25. ábra A jubileumi emlékülés résztvevői

2023. november 16-án – a Magyar Tudomány Ünnepe rendezvénysorozat keretében – az ESB 2023 Mérnöki Szimpózium a Bánkiban konferencia részeként, az ATT60 Jubileumi Szekciójában emlékeztek a résztvevők az eltelt évtizedekre. A szimpóziumra meghívást kaptak a társtanszékek vezetői, képviselői, a tanszék jelenlegi és korábbi munkatársai, a doktori iskola vezetői, a szakmai partnerek.

7. Zárzó

Köszönet az ESB 2023 Mérnöki Szimpózium Szervezőinek, a Kar vezetőinek, hogy lehetővé tették jelen kiadvány terjedelmi korlátait meghaladó összeállítás megjelentetését. E bővített hozzáférési lehetőség ellenére is előfordulhat, hogy az Olvasóban hiányérzet támad e nagymúltú intézmény meghatározó tanszéke történelmének egyes fázisait illetően. Bármennyire is törekedtem a teljességre, előfordulhat, hogy a visszemlékezés nem teljes. Elnézést kérek azoktól a kollégáktól, akik a felsorolásból esetleg kimaradtak, vagy nem kapott kellő figyelmet tevékenységük bemutatása.

Arra törekedtem, hogy a visszaemlékezés betekintést adjon abba a folyamatba, mely elődeink tanszékalapító tevékenységét, az új tudományterület intézményi fejlesztését, későbbi kiterjesztését, a tanszék országos elismertségét jellemezte. Arra törekedtem, hogy a 60 év történéseit átfogó összeállítás kifejezze elismerésünket a elődeink munkája iránt, a jelen és jövőbeli munkatársakat pedig példájuk nyomán elődeinkhez méltó tevékenységre ösztönözzem.

8. Hivatkozások

- [1] A Magyar Forradalmi Munkás-Paraszt Kormány 12/1962. (V. 5.) rendelete a felsőfokú technikumról
- [2] Dr. Gáti József szerkesztő: A Budapesti Műszaki Főiskola jubileumi évkönyve, 1879-2009. BMF, 2009, ISBN 978-9632-7154-91-1
- [3] Jesch László: A Budapesti M. Kir. Állami Felsőipariskola emlékkönyve, 1879-1939. Budapest, 1939.
- [4] Elnöki Tanács 1969. évi 25. számú törvényerejű rendelete (1969. augusztus 31.)
- [5] Dr. Király József szerkesztő: Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola Centenárium évkönyve 1879-1979. BDGMF, 1979.
- [6] Dr. Gáti József szerkesztő: Bánki Donát Műszaki Főiskola 1879-1999. Jubileumi emlékkönyv. Állami Közép Ipartanoda- Bánki Donát Műszaki Főiskola, BDMF, 1999.
- [7] A Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola jubileumi tablója 1969.
- [8] Dr. Gáti József szerkesztő: A Budapesti Műszaki Főiskola jubileumi évkönyve 1879-2004. Budapest, 2004. ISBN 963 7154 28 0
- [9] Dr. Gáti József szerkesztő: A Budapesti Műszaki Főiskola jubileumi évkönyve 1879-2009. Budapest, 2009. ISBN 978-963-7154-91-1
- [10] Dr. Gáti József, dr - Kovács Mihály: A hegesztő műszaki szakembertől a nemzetközi hegesztőtechnológus képzésig az Óbudai Egyetem Bánki Donát Karán, 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19-21.



Az anyagtudomány és anyagtechnológia az oktatásban és a kutatásban az ATT-n

Materials science and materials technology in education and research at ATT

¹Dr. Kovács Tünde Anna

¹Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti és Technológiai Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék. Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karán az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék látja el a Karon oktatott tanulmányi szakokon az anyagtudomány és anyagtechnológia tárgyak oktatását. A cikk áttekintést ad az anyagtudományi és anyagtechnológiai tárgyak rendszeréről, fejlődéséről a kezdetektől egészen napjainkig. Bemutatja a fontosabb oktatási anyagokat és kiadványokat, amelyeket a Tanszék munkatársai írtak és az ipari szakemberek is haszonnal forgathatnak. Ismerteti továbbá a Tanszék kutatási profilját, a jellemző kutatási területeket, ahol értékes szakmai eredményeket értek el kollégáink.

Kulcs szavak: anyagtudomány, anyagtechnológia, oktatás, kutatás

Abstract

At the Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering of Óbuda University, the Department of Materials Technology provides the teaching of materials science and materials technology subjects in the study programs educated by the Faculty. The article provides an overview of the system and development of materials science and materials technology subjects from the beginning to the present day. It presents the most important educational materials and publications that were written by the Department's staff and that industry professionals can also benefit from. It also describes the research profile of the Department, and the typical research areas in which our colleagues have achieved valuable professional results.

Keywords: materials science, materials technology, education, research

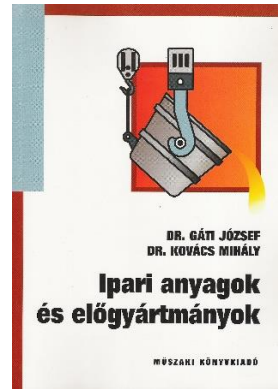
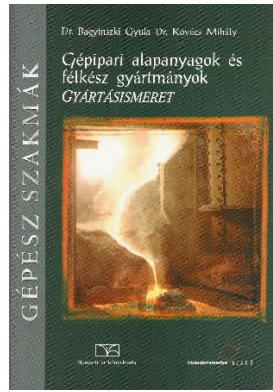
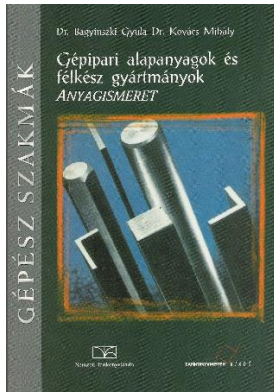
A gépészmérnöki képzésben az anyagtudomány és az anyagtechnológiák ismeretanyaga meghatározó alapnak tekinthető. A műszaki anyagok előállításának, feldolgozásának kérdései, továbbá viselkedésük ismerete a gyártási folyamat, majd az üzemeltetés során választ kell, hogy adjon számos tervezési, üzemeltetési és karbantartási problémára. A káresemények, meghibásodások elemzése során felmerülő kérdésekre is sok esetben a tágabb keretek között értelmezett anyagtudomány tud választ adni.

Az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék (ATT, továbbáiban Tanszék) életében már a kezdetektől a gyakorlatias anyagtechnológia – anyagismeret – anyagtudomány szemléletmód volt az irányadó. A Tanszék tantárgyainak oktatásában mindig részt vettek ipari és kutatási tapasztalatokkal rendelkező mérnökök is.

A Tanszék anyagtudománnyal összefüggő oktatási tevékenységét, a kezdetektől egészen az 1980-as évek végéig olyan tanáregyenlőségek fémjelzik, akiket - talán nem tűnik túlzásnak - joggal nevezhetünk az alapító és a szellemi irányt megadó „nagygenerációnak”. Ha csak a főbb vonalakra fókuszálunk (a területi korlátok, sajnos csak ezt teszük lehetővé) elmondható, hogy Dr. Vojnich Pál, Dr. Kisfaludy Antal, később Dr. Czinege Imre tanszékvezető kollégák irányítása mellett kiemelkedő szakmai munka folyt az anyagtudomány tárgyainak oktatását illetően. Az anyagtudományt a Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskolán még Anyagszerkezettan majd Szerkezeti anyagok néven oktattuk 1969 – 1991 között. Az akkori előadó a gépészmérnöki képzésben Libertiny Gáborné Dr. volt, míg a szervező mérnököknek Dévényiné Dr. Verebély Judit. Az első két félévben az akkori főiskola minden hallgatója tanulta ezt a tantárgyat megalapozva a gépészmérnöki tanulmányait. A gyakorlatokat Borossay Béla, Fücsök Ferenc, Dr. Sárossy György és Dr. Kovács Mihály vezették, Arany Judit, Ivancsó László és Kovács Gábor technikai támogatásával. A laborok akkoriban a Bezerédj utcában és a Fsz.16-ban működtek. A Fsz. 16-ban, ahogy mai napig is, a metallográfia labor működött (sok-sok éven át Arany Judit gondozásában), a Bezerédj utcában pedig a roncsolásos, dilatométeres, Jominy vizsgálatok kaptak helyet. Itt kapott elhelyezést a pásztázó elektronmikroszkóp (JEOL JSM 5310) is, amelyet főként tudományos kutatáshoz használtak a Tanszék munkatársai. Az anyagtudomány oktatáshoz tartozik, a Dr. Kisfaludy Antal által tartott Hőkezelés nevű tárgy is a gyártástechnológia szakirányos hallgatóknak. Az 1980-as évek végén érkezett a Tanszékre Dr. Réti Tamás (egyetemi tanárrá 2001-ben nevezték ki), aki az Anyagtudomány tárgy oktatásában vállalt feladatokat, kidolgozta az Anyagtechnológiák informatikája tárgy tematikáját és több éven keresztül oktatta is ezt a tárgyat.

Az 1990-es évek elejétől egy új „korszak” kezdődött a Tanszék életében. A főiskola átszervezésével, megnevezése 1991-ben Bánki Donát Műszaki Főiskolára változott. Főigazgatóvá Dr. Czinege Imre kollégánkat nevezték ki, akinek széleskörű ipari kapcsolatai tovább erősítették a Tanszék ipari együttműködését. Ennek köszönhetően, pl. szorosabbá vált kapcsolatunk a Paksi Atomerőművel is. Új oktatók érkeztek a Tanszékre Dr. Réger Mihály (egyetemi tanári kinevezését 2011-ben vette át) és Dr. Tóth László személyében, akik az anyagtudomány, anyagtechnológia tárgyak oktatásába kapcsolódtak be. Ebben az időben már világossá vált, hogy a fémek és ötvözetek mellett az anyagtudomány hangsúlyosabban kell, hogy „közvetítse” a hallgatók felé a kerámiák, műanyagok és kompozitok világát is. Dr. Kisfaludy Antal vezetésével és szakmai irányításával új háromkötetes főiskolai jegyzet készült Szerkezeti anyagok I-III. [1-3] címmel, amely több évtizeden keresztül sikeres alaplőnek bizonyult az anyagtudományt tanulók (és az azzal barátkozók) számára. Az anyagtechnológiák oktatását segítette az Anyagtechnológia I. [4] jegyzet, amely az alapanyaggyártást tárgyalta és egy anyagtechnológiákat (fémipari feldolgozó technológiákat) rendszerező módon összefoglaló jegyzet Anyagtechnológia II. [5] címmel (terjedelme 392 oldal volt), amelyek megírásába több tanszéki munkatársunk is bekapcsolódott, a kötet szerkesztését Dr. Gáti József kollégánk vállalta magára. Ebben az időszakban a főiskolán meghatározóvá vált a nemzetköziesítés kérdése, tanszéki kollégáink több nemzetközi projektbe kapcsolódtak be, illetve angol nyelvű segédleteket, képzési anyagokat és jegyzeteket is készítettek

Az 1990-es években a „nyitás szellemében” folyt a munka Tanszékünkön is, a gépészmérnöki képzés mellett műszaki menedzser szakon és műszaki informatika szakon is oktattunk. Ezekon a szakokon az anyagtudomány és anyagtechnológiák oktatása más megközelítést kívánt, mint a gépész szakon. Dr. Bagyinszki Gyula jóvoltából több sikeres jegyzet és tankönyv [6,7] is készült ebben az időszakban, amelyeket azonban nem csak a menedzser és informatikus hallgatók forgattak sikerrel, hanem a gépész képzés hallgatói is. Tanszéki kollégáink szakmai elismertségét dicsérik azok a kiadványok, amelyek a Tankönyvmester Kiadónál és a Műszaki Könyvkiadó gondozásában jelentek meg az ezredforduló éveiben [(8-10) (1. ábra), és azóta is több kiadást megért, országosan elfogadott tankönyvekként szolgálgják a gépész szakképzésben tanulókat.



1. ábra A Tanszék és a Tankönyvmester Kiadó, illetve a Műszaki Könyvkiadóval való együttműködés eredményeiből

Újabb „korszakként” jellemezhető a 2000-2010-es évekhez kötődő időszakasz. 2000-től már a Budapesti Műszaki Főiskola részeként működött a Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar és ezen belül Tanszékünk is. A gépészmérnöki képzésben Dr. Réger Mihály volt az Anyagtudomány I. és II. tantárgy előadója, az Anyagtechnológia alapjai I. és II. tárgyak előadásait Borossay Béla kollégánk tartotta. Közben újabb munkatársak érkeztek Tanszékünkre, akik bekapcsolódtak az anyagtudományi és anyagtechnológiai gyakorlatok oktatásába és a szakirányok is változásokon mentek át. A gyakorlatokat Kovács Tünde Anna, Nagyné Halász Erzsébet, Dr. Réti Tamás, Dr. Sárosy György, Dr. Pinke Péter és Varga Péter vezették. Akkoriban az Anyagtudományt az első két félév „főlelmetes” alapozó tárgyai között tartották számon a hallgatók. A tantárgy elsajátításában az előadásanyagok, a meglévő jegyzetek mellett elektronikus oktatási anyagok is segítettek a hallgatókat.

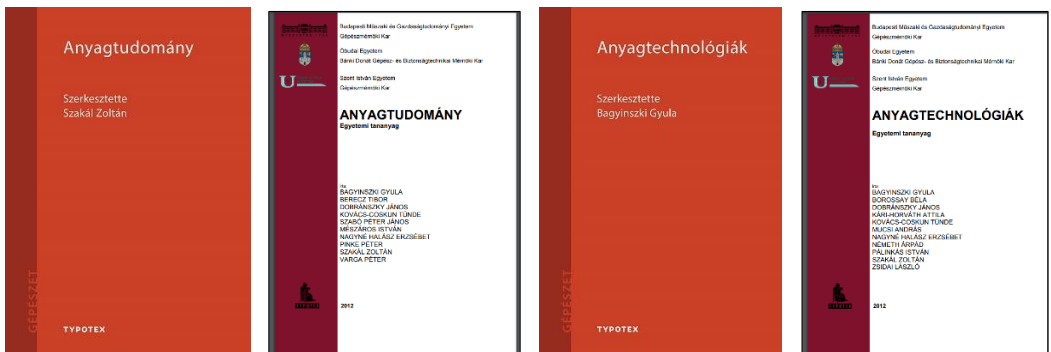
Elmondható, hogy ezt a korszakot, az oktatást illetően, a „digitalizáció térnyeréseként” élte meg a Tanszék. A kétezres évek digitális fejlődése, a Tanszék internetes weboldala már lehetőséget adott arra, hogy online tananyagok is elérhetőek legyenek a hallgatók számára, ezzel támogatva az ismeretek elsajátítását. Nagyon sok elektronikus tananyag, segédlet készült ebben az időben, melyet a hallgatók a tanszéki weboldalon, majd a Moodle rendszeren keresztül érték el. A Tanszék munkatársai – konzorciumi keretek között – elektronikus (multimédiás) tananyagok, elektronikus könyvek fejlesztésébe is bekapcsolódtak [11,12] (2. ábra).



2. ábra Konzorciumi keretek között készített interaktív multimédiás oktatómodul, Fémek gyártási eljárásai – elektronikus tankönyv

A 2010-es évek az „egyetemre válás” időszakát jelentették Tanszékünk számára is, ugyanis tevékenységünket már más szervezeti keretek között folytattuk, mint eddig. 2010-ben létrejött az Óbudai Egyetem (ÓE) és ezen belül karunk Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karaként (BGK) folytatta munkáját. A gépészmérnöki képzésben és az előző időszakban elindított mechatronikai és biztonságtechnikai szakokon is, a Tanszék által oktatott tárgyak megújultak, igényesebb, módosult tartalommal bővültek. A Tanszék oktatói állománya is gyarapodott, oktatóink sorába belépett Dr. Mucsi András, Dr. Gonda Viktor (alakítástechnológia tárgyainak oktatására), Dr. Rác Pál, későbbiekben pedig Ráthy Istvánné Dr. és Dr. Fábián Enikő Réka.

A gyakorlatorientált képzést szem előtt tartva az Anyagtudomány tárgy oktatásához elkészült két hiánypótló jegyzet, Mérnöki anyagtudomány - Példatár I. és II., [13,14], amelyek mintapéldákat és megoldandó feladatokat tartalmaztak az oktatott anyagtudományi ismeretek teljes köréből. Tananyagfejlesztés terén jelentős előrelépést jelentett egy konzorciumi összefogással létrejött TÁMOP projekt (TÁMOP-4.1.2-08/2/A/KMR-2009-0029, KMR Gépészmérnöki Karok informatikai háttérű anyagai és tartalmi kidolgozásai), ebben több kollégánk felkérését kapott egyetemi tananyag (e-könyv) egyes fejezeteinek megírására. A projekt keretében két e-könyv is elkészült: Anyagtudomány [15], és Anyagtechnológiák [16] elnevezéssel (3. ábra).



3. ábra A TÁMOP-4.1.2-08/2/A/KMR-2009-0029 konzorciumi tananyagfejlesztési projekt keretében elkészült elektronikus tananyagok címlapjai

2017. év szeptembere egy további mérföldkövet jelentett az anyagtudományi tárgyak oktatásában, ugyanis ekkor indult az ún. E-tanterv, amely előírta, hogy minden évfolyamban legalább egy szakmai tárgyat e-learning formájában kell oktatni. A gépészmérnöki képzés eddigi anyagtudományi „rendje” megváltozott, az Anyagtechnológia alapjai I. tárgyból Anyagtechnológia alapjai elnevezéssel e-learninges tárgy lett, az oktatási anyagok elkészítését Dr. Pinke Péter vállalta. Az Anyagtudomány I. tárgyat az Anyagok és technológiák I. tárgy váltotta, a tárgy előadója Dr. Tóth László kollégánk, az Anyagtechnológia alapjai II. tárgy betagozódott az Anyagok és technológiák II. tárgy kötelékébe, amelynek előadásait Dr. Pinke Péter és Dr. Kovács Tünde tartotta. A mechatronikai szakon az Anyagtechnológia alapjai tárgy szintén e-learningessé vált, a tárgy előadója Dr. Bagyinszki Gyula volt. Ezen a szakon indult angol nyelvű képzés is, az oktatási anyagokat és a tárgy gondozását Dr. Pinke Péter kollégánk, levelező képzésben pedig Dr. Varga Péter végezte. A 2010-es évek középső szakasza egy további szakmai előrelépést is jelentett, ekkor került kidolgozásra a Gépészmérnöki mesterképzés szakindítási kérelme, amelynek kedvező elbírálása lehetővé tette, hogy 2016. februárjában Hegesztéstechnológia specializáción elinduljon a képzés. Ezen a specializáción alapozó tárgyként oktatjuk az Anyagtudomány tárgyat (természetesen a képzéshez kötődő igényes szakmai ismeretekkel), a tárgy előadója Prof. Dr. Réger Mihály, és a szakmai tözanyag részeként pedig a Korszerű anyagtechnológiák tárgyat, melynek előadója Dr. Pinke Péter.

A 2020-2021-es COVID-19 időszak alkalmával kénytelen volt Tanszékünk is ráhangolódni az elektronikus oktatásra, kollégáink sok-sok elektronikus oktatási és segédanyagot készítettek, és fegyelmезetten tartották az online órákat. Így, pár év távlatából, elmondható, hogy a jelenléti oktatásnál nem lehet jobbat, hatékonyabbat kitalálni, természetesen az ismeretanyag bővítését illetően, az ismeretek ellenőrzésénél, a tudásszint felmérésénél az elektronikus tesztek és vizsgáztatási módszerek több esetben előnyösek lehetnek.

A tanszék „legújabbkori” történetét, anyagtudományi vonalon is, most kezdtük el írni. 2023. év szeptemberétől érvényben van Karunkon az újabb tanterv, az ún. F-tanterv. Az anyagtudományi képzési palettánkon nincs e-learninges tárgy, visszatértünk a klasszikus Anyagtudomány I. és II. tárgyalási módjához (természetesen innovált tartalmakkal) és az anyagtechnológiákat: alapanyaggyártást, öntészetet, porkohászatot, kötőtechnológiák alapjait, és hangsúlyosan a hőkezelést, az Anyagtechnológiák tárgyon belül oktatjuk. A közelmúltban Tanszékünk állománya fiatal kollégákkal egészült ki. Mészáros Levente és Dunavölgyi Dávid a gyakorlati foglalkozásokat segítik, Huszák Csenge, Schramkó Márton, Stadler Róbert és Nagy Balázs pedig az anyagtudományi és anyagismereti tárgyak gyakorlatainak vezetését látja el.

A Tanszék az oktatási feladatokon kívül, már a kezdetektől jelentős kutatási, fejlesztési és innovációs tevékenységet tudhat magáénak. Nehéz lenne összefoglalni azokat a kutatási és ipari munkákat, megbízásokat, projekteket, amelyekben munkatársaink az elmúlt 60 évben részt vettek. A jelentősebb K+F+I tevékenységekről, a Tanszék történetéhez illeszkedően, Dr. Gáti József kollégánk készített egy nagyon jó összefoglalót [17] jelen ESB 2023 kiadvány számára. Az elmúlt évek (2018-2022) nagyobb volumenű konzorciumi projektjeiről pedig Dr. Pinke Péter közölt összefoglalást [18], amely szíten jelen ESB 2023 kiadványban olvasható.

A továbbiakban egy kicsit formabontó módon szeretnék szólni kutatási tevékenységünkről és az az ahhoz kötődő, illetve abból eredeztethető tudományos munkáról. Ahhoz, hogy eredményes kutatómunkát végezhessünk, két fontos dolog szükséges, mégpedig: kutatási infrastruktúra és kutatói potenciál. Infrastruktúra tekintetében elmondható, hogy anyagtudományi kutatásokhoz megfelelő eszközparkkal rendelkezünk, a metallográfiai laboratóriumot a 2010-es évek közepén korszerűsítettük, beszerzésre került mikrokeménységmérő berendezés, DSC kaloriméter és egyik ipari partnerünktől, pár éve, ajándékozási szerződéssel, kaptunk egy felújított szakítógépet. Hőkezelési kísérletekhez többféle hőkezelő kemencét tudunk alkalmazni; polimerek, polimer bázisú kompozitok vizsgálatához ipari CT berendezést tudunk vásárolni projekt-forrásból. Az elmúlt évtizedek kutató munkáit és tudományos kutatási projektjeit figyelembe véve elmondható, hogy kutatói potenciál tekintetében, az oktató munkatársak közül folyamatosan „színré léptek” azok a kollégáink, akik képesek voltak tudományos igényességgel kutatási eredményeket felmutatni. Tudjuk, hogy a tudományos kutatás nem egyéni „műfaj”, az egyes kutatási irányokba, részfolyamatokba sok-sok munkatársat kell bekapcsolni, hogy a tudományos igyekezet eredményes legyen.

A teljesség igénye nélkül, a tanszéki „tudománytörténetet” alapul véve, álljon itt egy gyors vázlat, hogy az utóbbi közel három évtizedben, melyek voltak az ATT kutatási fővonalai. A Tanszék egyik meghatározó kutatási területe acélok kristályosodási, öntési folyamatainak kísérleti vizsgálata, matematikai modellezése volt, ezekhez társult korszerű acélok (DP, TRIP acélok) átalakulási folyamatainak vizsgálata, ezeket a kutatásokat prof. Dr. Réger Mihály fogta össze. A hőkezelés, felületkezelés, felületkezelési eljárások optimalizálása, kvantitatív metallográfia, képelemzés, állandósult és nem állandósult állapotú folyamatok matematikai modellezésének feladatkörét Prof. Dr. Réti Tamás által vezetett tudományos műhely kutatta. A 2010-es évek meghatározó kutatási területét a Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások projekt (TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001) jelentette, ennek keretében az elektrodinamikai megmunkálásokat és fémtani vonatkozásait Dr. Rác Pál kollégánk, a robbantásos hegesztést és anyagtudományi hátterének

vizsgálatát Dr. Kovács Tünde felügyelte. A közelmúlt nagyobb volumenű projektjei közül említést érdemel a fröccsönthető polipropilén alapú tapadást közvetítő kompozitok fejlesztése (NVKP_16-1-2016-0038) projekt, amelynek homlokerében az optimális anyagösszetétel meghatározása, roncsolásmentes (CT vizsgálatok Y. Cheetah FXE 160.51 berendezés segítségével) és roncsolásos anyagvizsgálati kísérletorozatok végrehajtása és értékelése állt, a kutatási tevékenységet Dr. Pinke Péter kollégánk koordinálta.

Szeretnék köszönetet mondani minden egykori és jelenlegi munkatársunknak, akik az anyagtudomány és anyagtechnológia terén hozzájárultak ahhoz, hogy a szerény kezdetektől egy országos hírű, és külföldön is ismert, TANSZÉK-ké vált az ATT. Teszem ezt annak apropóján, hogy hallgatóként én is itt “edződtem meg”, tudományos pályámhoz itt kaptam biztatást, útmutatást, életre szóló szakmai tapasztalatokat és egy támogató, megértő, inspiráló közeget egyaránt.

Hivatkozások

- [1] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok I.: Mérnöki anyagtudomány. Anyagvizsgálat. Általános anyagszerkezettan., BDMF, Budapest, 1995.
- [2] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok II.: Mérnöki anyagtudomány. Fémek anyagok. Polimerek. Kerámiák. Kompozitok., BDMF, Budapest, 1995.
- [3] Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Szerkezeti anyagok III.: Mérnöki anyagtudomány. Az anyagválasztás és felhasználás összefüggésrendszere és stratégiája., BDMF, 1995.
- [4] Kisfaludy, A., Réti, T., Tóth, L.: Anyagtechnológia I., BDMF, Budapest, 1998.
- [5] Gáti, J., Horváth, L., Kisfaludy, A., Réger, M., Tóth, L.: Anyagtechnológia II., BDMF, Budapest, 1998.
- [6] Bagyinszki, Gy.: Anyagismeret és minősítés, BDMF, Budapest 1996.
- [7] Bagyinszki, Gy.: Forgácsnélküli anyagtechnológiák, BDMF, Budapest, 1997.
- [8] Bagyinszki, Gy., Kovács, M.: Gépipari alapanyagok és félkészgyártmányok – Anyagismeret, Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2001.
- [9] Bagyinszki, Gy., Kovács, M.: Gépipari alapanyagok és félkészgyártmányok – Gyártásismeret, Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2002.
- [10] Gáti, J., Kovács, M.: Ipari anyagok és előgyártmányok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.
- [11] Alapanyaggyártó technológiák, interaktív multimédiás oktatómodul (szerk. Kisfaludy, A.) Apertus Közalapítvány, Budapest, 2002.
- [12] Bagyinszki, Gy., Czinege, I.: Fémek gyártási eljárásai, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2006.
- [13] Pinke, P., Kovács, C., T.: Mérnöki anyagtudomány – Példatár I., ÓE-BGK, Budapest, 2010.
- [14] Pinke, P., Kovács, C., T.: Mérnöki anyagtudomány – Példatár II., ÓE-BGK, Budapest, 2012.
- [15] Bagyinszki Gy., Berecz, T., Dobránszky, J., Kovács, C., T., Szabó, P., J., Mészáros, I., Nagyné, H., E., Pinke, P., Szakál, Z., Varga, P.: Anyagtudomány, (szerk. Szakál, Z.), Typotex Kiadó, Budapest, 2012.
- [16] Bagyinszki, Gy., Borossay, B., Dobránszky, J., Kán-Horváth, A., Kovács, C., T., Mucsi, A., Nagyné, H., E., Németh, Á., Pálkás, I., Szakál, Z., Zsidai, L.: Anyagtechnológiák / Materials Technology, (szerk. Bagyinszki, Gy.), Typotex Kiadó, Budapest, 2012.
- [17] Gáti, J.: A Mechanikai Technológia Tanszék alapításától napjainkig, ESB 2023, ÓE-BGK, Budapest, 2024.
- [18] Pinke, P.: Az Anyagtechnológiai Tanszék szerepvállalása a közelmúlt konzorciumi projektjeinek megvalósításában, ESB 2023, ÓE-BGK, Budapest, 2024.



A hegesztéstechnológia szerepe a Tanszék szakmai profiljában

The role of welding technology in the professional profile of the Department

¹Bagyinszki Gyula

¹Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti és Technológiai Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék. Budapest, Magyarország, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karán a Gépészeti és Technológiai Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszéke látja el az anyagtudomány és a nem forgácsoló (forgácsoló nélküli) anyagtechnológiák – köztük a hegesztés és rokon technológiák – oktatását mind a nappali, mind a levelező, sőt egyes szakok esetében az esti, illetve a távoktatási tagozaton. A graduális képzésen kívül nagy hagyománya van a Karon a hegesztő szakemberek tanfolyamrendszerű képzéseinek is, amelyek gondozása szintén a Tanszék feladatai közé tartozik.

Kulcs szavak: hegesztés, oktatás, képzés, jegyzet, könyv

Abstract

At the Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering of the Óbuda University, the Department of Materials Technology of the Institute of Mechanical Engineering and Technology provides teaching in materials science and non-cutting (chipless) materials technologies – including welding and related technologies – both full-time, correspondence, and even some majors in the case of the evening or distance education department. In addition to the graduate training, the Faculty also has a long tradition of course-based training for welding specialists, the maintenance of which is also one of the Department's responsibilities.

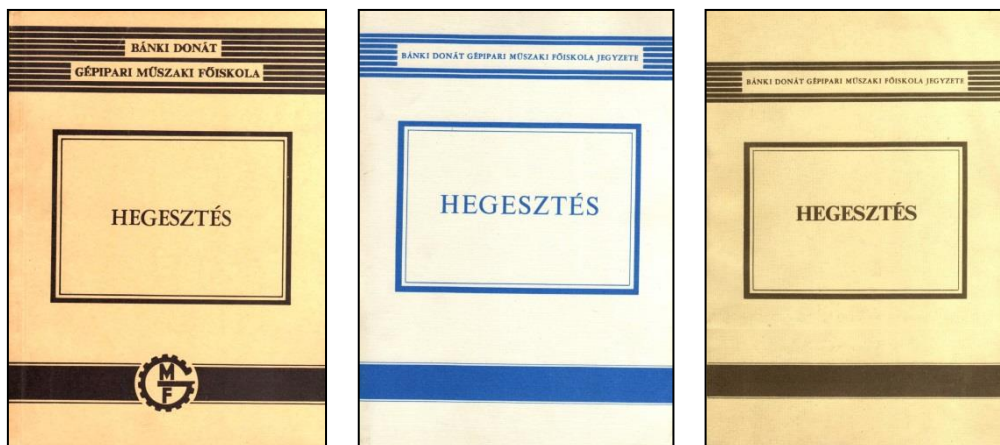
Keywords: Kulcs szavak: welding, education, training, note, book

A hegesztés oktatásában már az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karának jogelődje, a Magyar Királyi Állami Felső Ipariskola is szerepet vállalt. Az injektoros gázhegesztő pisztolyt 1905-ben szabadalmaztatta a francia Edmond Fouché és ilyen elvű eszközökkel a jogelőd intézmény (a Népszínház utcai telephelyen) – Petrik Lajos vezetésével – már 1907-ben szervezett autogénhegesztő (lánghegesztő) tanfolyamot és csak 1913-ig 749 fő végzett 46 tanfolyam keretében.

A lánghegesztő mellett villamos ívhegesztő tanfolyamot először 1930-ban hirdetett meg a jogelőd intézmény és ezzel fontos szerepet töltött be az eljárás széleskörű elterjesztésében. Ehhez Nyikolaj Gavrilovics Szlavjanov leolvadó elektródás ívhegesztő eljárásának (1888) és Oscar Kjellberg bevonatos elektródájának (1907) szabadalma adta a technikai alapokat. A két tanfolyam bemeneti feltételei azonosak voltak: születési anyakönyvi kivonattal igazolt betöltött 18. életév és

fémipari mesterségről szóló segédlevél.

Az említett gyakorlati képzések nyomdokain a hegesztés tudományos igényű oktatása a jogelőd Felsőfokú Gépipari Technikum – azon belül az 1963-ban alapított Mechanikai Technológia Tanszék – létrehozása után kapott nagyobb jelentőséget. Ebben kiemelkedő szerepe volt Becker Istvánnak, aki másodállásban oktatta a Hegesztés tantárgyat, melyhez a hallei ZIS-ben (Zentralinstitut für Schweißtechnik) megszerzett ismereteket foglalta jegyzetbe [1].



Becker István 180 oldalas, Becker István - Kovács Mihály 388 oldalas és Gáti József - Kovács Mihály 448 oldalas főiskolai jegyzete

Kovács Mihály, mint a Tanszék főállású oktatója – a német hegesztőmérnöki képzésben való részvétele után – Becker Istvánnal együtt kibővítette, átdolgozta ezt a jegyzetet [2]. A tárgy heti óraszámának növekedését követően Gáti József és Kovács Mihály írt új főiskolai jegyzetet [3], ami alapját képezte az időközben már elindult hegesztő műszaki szakember képzésnek is.

A hazai hegesztő szakemberek képzésében döntő fordulatot a 3/1969. (VII.29.) számú KGM rendelet hozott, ami előírta a hegesztő szakmunkások hazai minősítését és a hegesztő szakemberek továbbképzését. A rendelet szerint a minősített hegesztő szakmunkások munkájának előkészítésére és ellenőrzésére hegesztő műszaki szakembert kell alkalmazni.

A Felsőfokú Gépipari Technikumból 1969-ben létrehozott Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola Mechanikai Technológia Tanszékén megérlelődtek a tárgyi és személyi feltételek a 252 elméleti órát és 64 óra gyakorlatot magába foglaló képzés indítására. A tanfolyamra többnyire középfokú szakemberek, később gépész üzemmérnökök jelentkeztek. Az első tanfolyam a Főiskola és a Gépipari Technológiai Intézet együttműködésével, 1972-ben indult el.

A képzés a ZIS tematikája nyomán szerveződött. A tematika az első 6 tanfolyamot követően átdolgozásra került, és nagyobb hangsúlyt kaptak a gyakorlati alkalmazás szempontjából közvetlenül hasznosítható ismeretek. A tanfolyam végén a résztvevőknek 5 órás írásbeli, majd szóbeli vizsgát kellett tenniük három tantárgy(csoport)ból:

- hegesztő gépekből és berendezésekből / hegesztéstechnológiából,
- hegesztési anyagismeretből / anyagvizsgálatból,
- hegesztett szerkezetek gyártásából.

Az 1974-ben létrehozott „European Council for Cooperation in Welding” (ECCW) albizottságai kapták feladatul 1990-91-ben, hogy a hegesztési felelősök elméleti és gyakorlati képzésére, akkreditálására és vizsgáztatására vonatkozó egységes irányelveket kidolgozzák. Az EWF (European Federation for Welding, Joining and Cutting = Európai Hegesztési, Kötési és Vágási

Szövetség) által 1992-ben kiadott és 1993-ban életbe léptetett, a hegesztési felelősök, vagyis az európai

- hegesztőmérnökök (EWE = European Welding Engineer),
- hegesztőtechnológusok (EWT = European Welding Technologist),
- hegesztőspecialisták (EWS = European Welding Specialist),
- kiemelt hegesztők (EWP = European Welding Practitioner)

képzésére és képesítésére vonatkozó irányelvek meghatározták a képzés keretét, részletes tematikáját a minimális követelmény szint előírásával és a vizsgán elvárt ismereteket. A nemzeti hegesztési szervezetek – amelyek az EWF tagjai – kölcsönösen elismerik az irányelveknek megfelelő vizsgán alapuló, bármely tagállam által kibocsátott EWE, EWT, EWS, EWP diplomát.

1993-ban az EWF irányelvei alapján a hegesztő műszaki szakember képzés tantervét a Kar, illetve a Tanszék átdolgozta. A képzés óraszám 340 órára emelkedett (ebből 60 óra gyakorlat), és hegesztőtechnológus néven bekerült az Országos Képzési Jegyzékbe (OKJ) is.

1997-től az IIW (International Institute of Welding = Nemzetközi Hegesztési Intézet) az EWF irányelvet a nemzetközi

- hegesztőmérnök (IWE = International Welding Engineer),
- hegesztőtechnológus (IWT = International Welding Technologist),
- hegesztőspecialista (IWS = International Welding Specialist),
- kiemelt hegesztő (IWP = International Welding Practitioner)

képzés irányelveként fogadta el.

Azóta már ezen irányelv követelményei szerint folyik a képzés és a képesítés mind az EWF, mind az IIW tagországokban. 2011-től az előírt tartóvéri követelményeket az IAB-252 „Guideline for International Welding Engineers, Technologists, Specialists and Practitioners - PERSONNEL WITH QUALIFICATION FOR WELDING COORDINATION” dokumentuma tartalmazza. A képzésben résztvevők az eredményes vizsgák után IWE, IWT, IWS, IWP diplomát kapnak az EWE, EWT, EWS, EWP oklevél mellé.

Az EWF 1998-ban vette fel teljes jogú taggá a Magyarországot képviselő Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgáló Egyesület (MHtE). Az EWF és az IIW által létrehozott IAB (International Authorisation Board = Nemzetközi Meghatalmazott Testület) IAB-252r1-11 (r2-14, r3-16, r4-18, r5-19) tematikája szerint, az MHtE, mint ANB (Authorised Nominated Body = Meghatalmazott Kijelölt Testület) akkreditációja révén az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara, mint ATB (Approved Training Body = jóváhagyott oktató és képesítő hely) is szervezhet 1999-től Európai/Nemzetközi Hegesztő Technológus (EWT/IWT) és Európai/Nemzetközi Hegesztő Specialista (EWS/IWS) képzést, majd 2011-től Európai/Nemzetközi Hegesztő Mérnök (EWE/IWE) képzést.

Teljes óraszámú (340 tanórással, 2012-től 362 tanórással, 2017-től 369 tanórással) IWT/EWT képzést 2023-ig 24 alkalommal tartott a Kar, továbbá (1999-2002 között) egy ismeretmegújító és kettő kiegészítő képzést is. Teljes óraszámú (222 tanórással, 2009-től 227 tanórással, 2012-től 240 tanórással, 2017-től 249 tanórással) IWS/EWS képzést 2023-ig 18 alkalommal került lebonyolításra.

2011-től – EWF jóváhagyással – 112 tanórással IWE/EWE különbözeti (kiegészítő) képzést is szervez a Kar azon mérnökök részére, akik IWT/EWT diplomával már rendelkeznek és a további kritériumoknak is megfelelnek. A csak elméleti képzés tananyaga az IWE és IWT tematika közötti különbség, rendszerező áttekintéssel kiegészítve. 2023 végéig 13 ilyen képzés valósult meg. Fontos megjegyezni, hogy csak a képzés lehet „különbözeti”, tehát a vizsga nem, így az IWT és az IWE különbözeti képzés együttes teljes tananyagából kell vizsgát tenni.

Miután a hegesztési ismeretek – az új eljárások, anyagok, a minőségirányítás stb. területén –

jelentős fejlődésen mentek keresztül, szükségzerűvé vált egy összefoglaló szakkönyv megírása. Ekkor készült el a Hegesztési Zsebkönyv első változata, melynek főszerkesztője Gáti József és kiadója a Műszaki Könyvkiadó volt [4]. Az újabb kiadására a Műszaki Könyvkiadó nem vállalkozott, ezért az aktualizált és jelentősen kibővített második változatot Komócsin Mihály COKOM Mérnökiroda Kft.-je adta ki [5]. A Hegesztési Zsebkönyvet tankönyvként az európai/nemzetközi képzésekben résztvevők folyamatosan megkapták, illetve megkapják.



A Hegesztési Zsebkönyv 1996-os 1. és 2003-as 2. kiadása, melyeknek 65 %-át, illetve 57 %-át tanszéki munkatársak írták

A hegesztés és rokon technológiák a következők szerint jelentek meg a graduális képzésben:

Gépészmérnöki szakon, az Anyagtudomány I. és II-re (Werkstoffkunde I. és II.-re), illetve az Anyagtechnológia alapjai I. és II.-re alapozva:

- Kötéstechnológia (CAD/CAM szakirány), illetve Fügetechnik,
- Kötés- és alakítástechnológia I. és II. (Géptervező szakirány),
- Termikus technológiák számítógépes tervezése.

Gépipari mérnökasszisztens szakon, az Anyagismeret I. és II.-re alapozva:

- Előgyártás és kötéstechnológia.

Mechatronikai mérnök szakon, a Mérnöki anyagok-ra alapozva:

- Anyagtechnológia I. és II., kötéstechnológia fejezettel.

Had- és biztonságtechnikai mérnök szakon:

- Anyag- és gyártásismeret I., kötéstechnológia fejezettel.

Munkavédelmi mérnökasszisztens szakon, az Anyagismeret-re alapozva:

- Gyártásismeret, kötéstechnológia fejezettel.

Műszaki menedzser szakon, az Anyagismeret-re alapozva:

- Termelési folyamatok I., kötéstechnológia fejezettel.

Mérnökktanár szakon:

- Szakmódszertan III. (gépész) – A fémipari anyag- és gyártásismeret tanításának módszertana, kötéstechnológia alfejezettel.

A Tanszék által kínált választható tantárgyak közül az alábbiak tartoznak a hegesztés és rokon technológiák tárgykörébe:

- Autóipari kötés- és alakítástechnológia

- Hegesztés gépesítése és automatizálása
- Hegesztett szerkezetek tervezése
- Korszerű felületnemesítő eljárások

A hegesztő szakember képzésekben szerzett oktatási tapasztalatokat, illetve gyakorlatot kamatoztatva, a Kar által 2016. februárban indított gépészmérnöki MSc képzésnek hegesztéstechnológia specializációja került bevezetésre. Ebben a Tanszék által oktatott tantárgyak a következők:

Természettudományi alapismeretek tantárgycsoportban:

- Anyagtudomány

Szakmai törzsanyag tantárgycsoportban:

- Korszerű anyagtechnológiák
- Projektfeladat

Differenciált szakmai ismeretek tantárgycsoportban:

- Hegesztéstechnológiák I. (ömlesztő hegesztés)
- Hegesztéstechnológiák II. (sajtoló hegesztés)
- Hegeszthetőség és anyagvizsgálat
- Hőfolyamatok és modellezésük
- Diplomatervezés I.
- Diplomatervezés II.

Kötelezően választandó tantárgycsoportban:

- Különleges hegesztő eljárások
- Termikus vágás és bevonatolás

Szabadon választható tantárgycsoportban:

- Korszerű felületnemesítő eljárások

Ezek közül több megjelenik az államvizsga tantárgyak között is:

Gépészmérnöki ismeretek:

- Gépszerkezetek és tervezés
- Gyártási folyamatok és rendszerek
- Korszerű anyagtechnológiák

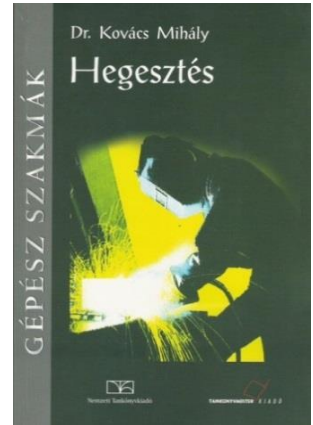
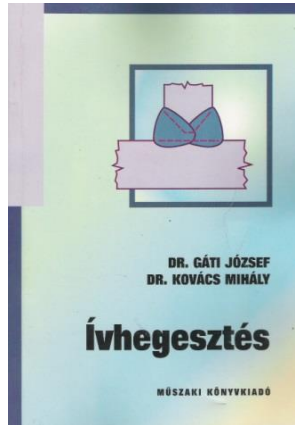
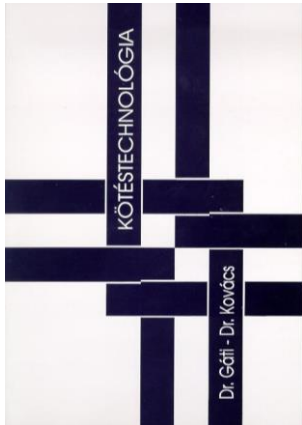
Hegesztéstechnológia

- Hegesztéstechnológiák I. (ömlesztő hegesztés)
- Hegesztéstechnológiák II. (sajtoló hegesztés)
- Hegeszthetőség és anyagvizsgálat
- Munkahelyi egészségmegőrzés
- Ipari minőségirányítás

Sajátos „színfolt” a Kar képzési palettáján a veterán-gépjármű restaurátor szakirányú továbbképzési szak, melynek a „Korhű és korszerű gyártási környezet” modulja magába foglalja az „Anyagtudomány”, a „Lemezalakítás”, a „Hegesztés és hőkezelés”, a „Felületvédelem és kikészítés”, a „Korhű és korszerű technológiák”, a „Különleges technológiák”, a „Műanyag alkatrészek kis darabszámú gyártása” tárgyakat.

Természetesen a hegesztés és rokon technológiák nem csak órarendi keretek között, hanem a Tudományos Diákköri, szakdolgozat (BSc) és diplomamunka (MSc) témák konzultálásában is jelentenek tanszéki feladatokat.

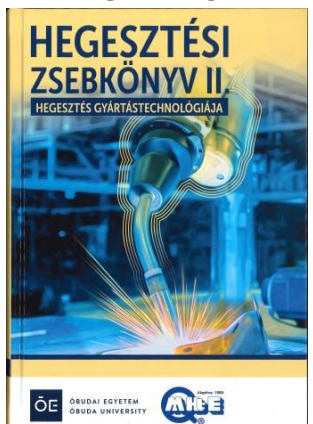
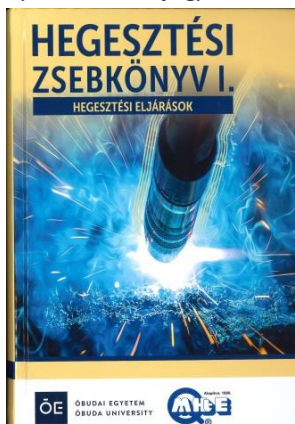
A Tanszék munkatársai kiemelten fontosnak tartják a hallgatók ellátását színvonalas tananyagokkal. Elkészült több, intézményi kiadású tanszéki jegyzet és kiadók által gondozott tan-, illetve szakkönyv, többek között a hegesztés és rokon technológiák tárgykörben is.



Gáti József - Kovács Mihály szerzőpáros művei [6, 7, 8]



Bagyinszki Gyula és Bitay Enikő által jegyzett „könyvsorozat” [9, 10, 11].



Hegesztési szakkönyvek, melyeknek tanszéki munkatársak is társszerzőik [12, 13, 14]

A Tanszék munkatársai – konzorciumi keretek között – elektronikus (multimédiás) tananyagok fejlesztésébe is bekapcsolódtak. Így született meg a BMF Báncsi Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar, a Dunaújvárosi Főiskola, a Kecskeméti Főiskola, a Széchenyi István Műszaki Főiskola és a Vision Multimédia Kft. együttműködése révén – az „Alapanyaggyártó technológiák” és a „Képlékenyalakító technológiák” mellett a „Hegesztéstechnika” interaktív multimédiás oktatómodul 2002-ben [15].



Hegesztéstechnika interaktív multimédiás oktatómodul startmenüje

A Gépipari Tudományos Egyesület Hegesztési Szakosztálya és Hegesztés Munkavédelme Szakbizottsága – a Nemzeti Munkaügyi Hivatal támogatásával – a hegesztés biztonságára vonatkozó „Helyes gyakorlat” kiadványokat készítettett és hozzájuk kapcsolódó internetes felületet hozott létre. Ezen útmutatók kidolgozásának célja a hegesztés és rokon eljárásai veszélyeinek elhárítását szolgáló, helyesnek tekintett és/vagy bizonyult gyakorlat bemutatása. A Tanszék részéről Bagyinszki Gyula kettő kiadványt állított össze [16, 17].

HEGESZTÉS BIZTONSÁGA

HB-H3-2013

Az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos hegesztés HELYES GYAKORLATA

Védekezés optikai sugárzás ellen

A helyes gyakorlat útmutató célja a hegesztés és rokon eljárásai veszélyeinek és ártalmának megelőzését szolgáló, szakmailag helyesnek tekintett és/vagy bizonyult gyakorlat bemutatása. Alkalmazása nem kizárólag, választható más, legalább egyenértékű biztonságot nyújtó megoldások. A jelen kiadványban bemutatott megoldások azonban megfelelnek az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés jogszabályából eredő követelményeknek, de hasznosnak lehetnek a munkabiztonságot és munkakezességüket irányító és ellenőrző számára is, amikor a vonatkozó jogszabályoknak megfelelő, helyes gyakorlatot kívánják megvalósítani vagy szemléltetni.

1. A munkavégzés helyszíne

A munkavégzés helyszíne egy közelműltben felépített műhelycarnok, ami főként mecsell felépítés, rendbe hozott betonpadló és kijáratot üvegező nagy ablakfelületek határolnak. Ez utóbbiakon keresztül érvényesülő természetes megvilágított fénytelő felülműltakkal ellátott fényvédős viselést egészíti ki.

A műhelycarnok egyik negyedében darabolásra való alumínium termékek és sajtoló profilok sokaságának a mechanikus táblázolói és termikus (plazma) vágvédőberendezések mellett. A műhely többi részében argonvédőgázos fűzőgáztervezési és voltámműltelési hegesztési művelétek, valamint ezek előkészítő, ill. utóműltelátati zajlanak. A hegesztésre kerülő gyártmányok mérete (kiterjedési, a hálókábel végződés hegesztések száma, a varrathegés hozzáféréseinek biztosítása, továbbá a készülőtermék és anyagmozgató szükségessége miatt nem megvalósítható a behatárolt borszárban (kül-képpen) történő munkavégzés.

A műhelycarnok egyik szegletében van lehetőség a voltámműltelési hegesztés elektrodáinak közörlésére. A szomszédos műhelycarnokban jelen esetben gyakran kell közörlésnek a hegesztő segítőinek – részben önműlt részben pályázati forrás felhasználásával – korszerű technológiákat, ill. ezek berendezéseit telepíteni, úgy mint:

- lézervágás és hegesztés,
- elektronosugrás hegesztés,
- vízugaras vágás,
- plazmaszárás.

2. A felmerülő optikai problémák és azok el-műlt, illetve gyakorlati háttere

A nyílt fűző és a lézervegztés, illetve vágási eljárásoknál az elektronosugrás hegesztésnél, a gázhegesztésnél és a lángvágásnál, több termikus szóró és kemény, illetve lágyforrástól eljárásnál jelentős mennyiségű – határozott intenzitású – optikai sugárzás sugárzik ki. A sugárzás optikai sugárzás, az elektronosugrás hegesztés, az elektronosugrás hegesztés, az elektronosugrás hegesztés (H3-1. ábra) közlő tartoznak az optikai sugárzásba. Más eljárások – így például az el-műlt-hegesztés és a hűgázgáz hegesztés – általában elhagyható mennyiségben bocsátanak sugárzó energiát.

H3-1. ábra

Hegesztés Munkavédelme Szakbizottság

HEGESZTÉS BIZTONSÁGA

HB-H10-2013

A biztonságos, egészségre nem ártalmas hegesztés HELYES GYAKORLATA

Védekezés zaj ellen

A helyes gyakorlat útmutató célja a hegesztés és rokon eljárásai veszélyeinek és ártalmának megelőzését szolgáló, szakmailag helyesnek tekintett és/vagy bizonyult gyakorlat bemutatása. Alkalmazása nem kizárólag, választható más, legalább egyenértékű biztonságot nyújtó megoldások. A jelen kiadványban bemutatott megoldások azonban megfelelnek az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés jogszabályából eredő követelményeknek, de hasznosnak lehetnek a munkabiztonságot és munkakezességüket irányító és ellenőrző számára is, amikor a vonatkozó jogszabályoknak megfelelő, helyes gyakorlatot kívánják megvalósítani vagy szemléltetni.

1. A munkavégzés helyszíne

Logisztikai megfontolásból autópályára és főútvonal közlekedési csomópontjára közelében található ipari parkban építettek fel egy fémcsiszoló-gyártó üzemet, annak központi részei a daraboló- és a hegesztő-műhelycarnok. Mindkettő környezetkezelési kivételt, előre gyártott szabványoknak alkotják tartoztat, és fém trapezium-vezeték képezik a fal- és a tetőfelületet. Monolit betonpadlóra, földrevelővel végződött rojtokkal a különféle technológiai berendezések.

A hegesztő műhelycarnok szomszédjában – annak kiszolgálása céljából – alakított ki a daraboló, az előkészítő műhelycarnokat. A vágási fel-műlt sokféle – beleértve az anyagmozgató (összetétel, szűrőgáz, olvadáspont stb.) és geometriai (szelvényének, jellemző befoglaló és vastagsági) metékek, alak- és mérettartományokba változtatható – szinte minden fontos vágási eljárás megvalósítható (berendezésének telepítés) szükséges lehet.

Rendeltkezőre állnak:

- nyitvárosra alkalmas káros- és táblaalkotók,
- forgácsolási feladatokat ellátó gépi fűrészek és marógépek,
- termikus vágást végző láng-, plazma- és lézervegztés,
- erőteljes megvalósító vízugaras technika.

Ezek az eszközök logisztikailag rendezetten, de

közül legfeljebb kerültek elhelyezésre. Ezt többek között a bűltárolási és tárolókkal megvalósított anyagmozgató is indokolja. Egyes berendezéseket – a jobb kihasználás, illetve a vágási igények kielégítése érdekében – már előre építtettek kővetően, több vágófelülettel.

2. A zaj okozta veszélyek és azok el-műlt, illetve gyakorlati háttere

A hegesztés és rokon eljárásai alkalmazása során zaj származhat a folyamatból (pl. fővonal keresztűl áramlás zajok), az aramforrásból, vagy más berendezésből (pl. gépjárműt vágási és/vagy anyagmozgató). A sűrített levegős szénves vágás vagy a plazma vágás jellegzetes példái a zajos eljárásoknak, de egy motor által hajtott generátor is lehet jelentős zajforrás. Az erős és hosszan tartó zaj egészségügyi kockázatot jelent.

Míg az optika szakterületre (a látható tartományba eső) elektronosugrás sugárzásokkal – a fényvágáshoz – addig az akusztika a hallható mechanikai rezgésekkel – hangokkal, így a zajokkal is – foglalkozik. A hang valamely folytonos, rugalmas közegben kialakuló mechanikai zavarási állapot továbbterjedése. A zavarási állapot (a hang) terjedése során közzérendő energia, azaz munkavégzési képesség is terjed. Arról függően, hogy a mechanikai zavarási állapot levegőben vagy más gázban, vízben vagy ettől

Hegesztés Munkavédelme Szakbizottság

Bagyinszki Gyula által készített „helyes gyakorlat” kiadványok címlapja

Valamennyi szakon, a tantárgyhoz tartozó gyakorlatok keretében mutatják be a tanszék oktatói a fontosabb hegesztési eljárásokat. A hegesztő laboratóriumokban a fontosabb láng- és ívhegesztő, láng- és plazmavágó, ellenállás-ponthegesztő, ultrahangos ponthegesztő, polimer csőhegesztő eljárások és eszközök, valamint hegesztés gépesítését segítő egyéb berendezések mutathatók be.



Lánghegesztő és (sajtoló) hegesztő laboratórium



Ívhegesztő és robothegeztő laboratórium

2009. október 26-án a Tanszék felügyelete alá tartozó BMF/OE-BGK-CLOOS Robothegeztő labor átadására került sor egy kettős jubileum – az Kar jogelőd intézménye (a Magyar Királyi Állami Ipariskola) alapításának 130 éves évfordulója, valamint a német CLOOS cég 90 éves fennállása – alkalmából. Ekkor indult az a szimpózium sorozat is, melynek 2022-ben már a 12. eseménye került megrendezésre az Karon.

A Tanszék hangsúlyt fektet a multimédiás jellegű oktatásra és abban az informatikai lehetőségek kihasználására is. Azokon a területen, ahol a szükségesnek ítélt vizsgálatok és technológiai bemutatók gyakorlati megvalósítására alkalmas eszközök nem állnak rendelkezésre, videofilmeket, számítógépes szimulációt, vetített vagy tablós prezentációkat mutat be a hallgatónak. A mérési adatfeldolgozás, a konstrukciós- és technológiai tervezés, az anyagkiválasztás területén szoftverek és adatbázisok állnak rendelkezésre az ilyen témájú gyakorlatokhoz, TDK-munkákhoz, projektfeladatokhoz, szakdolgozatokhoz, diplomamunkákhoz.

A Karon hallgatói Hegeztő Szakkör is alakult, melynek főbb célkitűzései:

- bizonyos fokú hegesztői gyakorlat megszerzése a tanszéki laborokban (előre egyeztetett beosztás szerint, oktatói felügyelet mellett, a vonatkozó biztonsági szabályok betartásával);
- a hegesztési szakmai ismeretek bővítése és elmélyítése;
- bekapcsolódás Tudományos Diákköri (TDK) munkákba;

- szakkiállítások (pl. Mach-Tech, Ipar Napjai) csoportos megtekintése;
- üzemlátogatások szervezése és lebonyolítása;
- más felsőoktatási intézmények hasonló közösségeivel (pl. BME Gépészmérnöki Kar Hegesztési Szakosztály) való kapcsolattartás, esetenként közös programok (pl. hegesztési verseny) lebonyolítása.

A Kutatók Éjszakája Európa-szerte megrendezett ingyenes eseménysorozat a tudomány és a kutatói életpálya népszerűsítésére. Általában szeptember utolsó hétvégéjén lehet bepillantani a különböző tudományterületek „rejtelmibe”. Szórakoztató, inspiráló előadásokon, kísérleteken, bemutatókon, laborbejárásokon és játékos programokon keresztül minden korosztály ismerkedhet a tudományos kutatás, illetve a mérnöki tevékenység eredményeivel, technikai hátterével. A kari programban – tanszéki munkatársak közreműködésével – rendszeresen szerepel hegesztéssel és rokon technológiáival kapcsolatos bemutató is.

Hivatkozások

- [1] Becker István: Hegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965, 180 oldal
- [2] Becker István - Kovács Mihály: Hegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979, 388 oldal
- [3] Gáti József - Kovács Mihály: Hegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989, 448 oldal
- [4] Szerkesztette Gáti József: Hegesztési zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1996, 802 oldal, - 1. *Hegesztési anyagismeret*, 1-115. oldal, 4.4. *Hegesztett szerkezetek*, 573-650. oldal, 5. *Hegesztő szakemberek képzése és minősítése*, 675-704. oldal, 6.1. *Hegesztési hibák és értékelésük* - 6.2. *A hegesztés vizsgálata* - 6.3. *Hibakereső anyagvizsgálatok* - 6.4. *Egyéb vizsgálatok*, 711-766. oldal, szerző: Kovács Mihály; 2. *A hegesztési eljárások és eszközeik*, 117-407. oldal (kivéve 2.1.3.-2.1.5. pontok, 216-298. oldal), 3. *Fémek termikus vágása*, 409-447. oldal, szerző: Gáti József
- [5] Szerkesztette Gáti József: Hegesztési zsebkönyv, Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2003, 802 oldal, - 1. *Fémek tulajdonságai és viselkedésük a hegesztés során*, 1-88. oldal, 4.4. *Hegesztett szerkezetek tervezése és kialakítása*, 491-538. oldal, 5. *A fémes kötések vizsgálata*, 557-608. oldal, 8.1. *Fémhegesztő szakemberek képzése és minősítése*, 641-662. oldal, *Német szakszótár*, 759-772. oldal, szerző: Kovács Mihály; 2. *Fémek vágási eljárásai és eszközei*, 89-118. oldal, 3. *A hegesztési eljárások és eszközeik*, 119-396. oldal (kivéve 3.1.3.-3.1.5. pontok, 188-314. oldal), 6. *A polimerek tulajdonságai és viselkedésük a hegesztés során*, 609-622. oldal, 7. *Polimerek hegesztési eljárásai és eszközei*, 623-640. oldal, 8.2. *Műanyaghegesztő szakemberek képzése és minősítése*, 663-668. oldal, 10. *Hegesztés biztonságtechnikája, tűz-, és környezetvédelme*, 741-752. oldal, szerző: Gáti József
- [6] Gáti József - Dr. Kovács Mihály: Kötéstechnológia, Bánki Donát Műszaki Főiskola, Budapest, 1999; 196 oldal
- [7] Gáti József - Kovács Mihály: Ívhegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2008, 92 oldal
- [8] Kovács Mihály: Hegesztés, Nemzeti Tankönyvkiadó - Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2008, 204 oldal
- [9] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: Felületkezelés, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009, 359 oldal
- [10] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: Hegesztéstechnika I. - *Eljárások és gépesítés*, Erdélyi

Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010, 286 oldal

- [11] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: Hegesztéstechnika II. - *Berendezések és mérések*, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010, 286 oldal
- [12] Főszerkesztő Szunyogh László: Hegesztés és rokon technológiák Kézikönyv, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007 - 3.2.6. *Nem fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztési eljárások*, 191-204. oldal, 3.4. *Lánghegesztés*, 247-260. oldal, 10. *Nemfém anyagok hegesztése*, 791-827. oldal, szerző: Gáti József; 3.2.7. *Plazmahegesztés*, 204-213. oldal, szerző: Bagyinszki Gyula;
- [13] Szerkesztette Gáti József: Hegesztési zsebkönyv I. Hegesztési eljárások, Cokom Mérnökiroda Kft., 2023. 646 oldal, - 5. *Polimerek és hegesztésük*, 545-596. oldal, szerző: Gáti József
- [14] Szerkesztette Gáti József: Hegesztési zsebkönyv II. Hegesztés gyártástechnológiája, Cokom Mérnökiroda Kft., 2023. 580 oldal, - 1.5.2. *A hegesztés gépesítésének rendszere*, 60-145. oldal, szerző: Bagyinszki Gyula
- [15] Bagyinszki Gyula - Bernáth Mihály - Fülöp Zsoltné - Gáti József - Gremesberger Géza - Kovács Mihály - Vígh Sándor: Hegesztéstechnika interaktív multimédiás oktatómodul (Szerkesztő: Bagyinszki Gyula), Apertus Közalapítvány, Budapest, 2002
- [16] Bagyinszki Gyula: HEGESZTÉS BIZTONSÁGA HB-H3:2013 - Az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos hegesztés HELYES GYAKORLATA - Védekezés optikai sugárzás ellen, *Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2013, 14 oldal* (<http://www.gtehm.hu/dokumentumok.php?id=4>)
- [17] Bagyinszki Gyula: HEGESZTÉS BIZTONSÁGA HB-H10:2013 - A biztonságos, egészségre nem ártalmas hegesztés HELYES GYAKORLATA - Védekezés zaj ellen, *Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2013, 11 oldal* (<http://www.gtehm.hu/dokumentumok.php?id=12>)



Az Anyagtechnológiai Tanszék szerepvállalása a közelmúlt konzorciumi projektjeinek megvalósításában

The role of the Department of Materials Technology in the implementation of recent consortium projects

¹ Pinke Péter

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest Magyarország, pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A cikk az utóbbi évek Anyagtechnológiai Intézeti Tanszékhez kötődő fontosabb pályázati projektjeit mutatja be. Három projektfeladat kerül ismertetésre: polipropilén mátrixú üvegyönggyel töltött kompozitok vizsgálata, forgácsoló szerszámok vizsgálata, nyomásos öntéssel készült öntvények belső hibáinak elemzése. Továbbá egy szakértői értékelés is bemutatásra kerül kivonatolva. A cikk részletezi a projektek megoldása során alkalmazott vizsgálati technikákat, összefoglalja a projekt szakmai eredményeit, áttekintést ad a kutatási programok megvalósítása során elkészített szakmai publikációkról is.

Kulcs szavak: roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok, polipropilén bázisú kompozit, szerszámtörés, öntvény – mikrohibák, reaktortartály

Abstract

The article presents the most important projects related to the Department of Materials Technology in recent years. Three project tasks are described: examination of composites with polypropylene matrix filled glass beads, examination of cutting tools, analysis of internal defects of castings made by die casting. Furthermore, an expert evaluation is also presented in summary form. The article details the investigation techniques used during the solution of the projects, summarizes the results of the project, and provides an overview of the professional publications prepared during the implementation of the research programs.

Keywords: destructive and non-destructive tests, polypropylene-based composite, tool breakage, casting - microdefects, reactor tank

1. Bevezető

Az elmúlt években az Óbudai Egyetem (ÓE) Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara (BGK) számos, a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) által kiírt pályázaton szerepelt sikerrel konzorciumi partnerként. Több pályázati projekt is volt, amelynek szakmai megvalósítása az ÓE-en belül az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszékhez (ATT) köthető. Ebben a publikációban három olyan pályázati projekt megvalósítását, eredményét szeretném összefoglalni, ahol az ATT volt a meghatározó szakmai megvalósító az ÓE-et illetően, továbbá egy szakértői megbízás teljesítéséről is szeretnék vázlatosan beszélni, amely egyértelműen az ATT szakmai közösségéhez kötődik.

2. Pályázati projekt (1) – Nemzeti Versenyképességi és Kiválósági Programban (NVKP) nyertes pályázat

A pályázat megnevezését, a pályázati azonosítót és a konzorciumi tagokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat Az NVKP pályázat főbb adatai

A pályázat megnevezése: Fröccsenhető polipropilén alapú tapadást közvetítő kompozitok fejlesztése járműtechnológiai alkalmazásokhoz
Pályázati azonosító és a megvalósítás időtartama: NVKP_16-1-2016-0038 projekt (2017-2019)
Konzorciumi partnerek: Richard Fritz Kft., Aszód (konzorcium vezető); BMGE Budapest; ÓE BGK, RKK Budapest; Data-Press Informatikai Kft., Budapest.

A projekt célja egy olyan új környezetbarát gyártástechnológia kialakítása volt, amely az üvegre fröccsöntési folyamat fejlesztésén keresztül csökkenti a környezetterhelést és csökkenti a gyártási hibaszázalékot.

A termékminőség javítása érdekében kétkomponensű fröccsöntési technológia alkalmazható, amelyben a szigetelésre szolgáló rugalmas keret (EPDM – Etilén-Propilén-Dién-Monomer) és az üveg közé üvegszálakkal erősített polimer (leggyakrabban PP – polipropilén) réteget visznek fel. A fröccsöntési technológia velejárája a fröccsöntött polimer zsugorodása, az íves felületeken keletkező káros feszültség kialakulása, amely következtében az adhéziós kapcsolat az üveg és a polimer között megszűnhet, folytonossági hiány, tömítettségi hibák alakulhatnak ki. Az üvegszál erősítésű polimer kiváltható üvegyöngy erősítésű polimerrel, amely egy olyan töltőanyagrendszer kifejlesztéséből adódik, amely a fröccsöntés során a polimerben úgy oszlik el, hogy elősegíti az egyenletes és csökkentett zsugorodást.

A project céljához illeszkedően az ÓE-BGK-ATT feladata több területet foglalt magában, amelyek közül a legfontosabbak az alábbiak voltak: 1) roncsolásmentes és roncsolásos anyagvizsgálati kísérletsorozat elvégzése az optimális anyagösszetétel meghatározásához, 2) CT (komputer-tomográfiai) anyagvizsgálati mérésorozat elvégzése az üvegyöngy eloszlás mérésére, 3) a szükséges kutatási infrastruktúra beszerzése (ipari CT berendezés).

A vizsgált PP mátrixú kompozitokat illetően az üvegyöngy tömegszázalék (10, 25, 40 m%) tartalmából, az alkalmazott üvegyöngy méret-tartományából (0-75 μm , 75-125 μm , 125-250 μm) és a befröccsöntési sebesség változó értékeiből (5 cm^3/s , 20 cm^3/s , 80 cm^3/s) adódóan 27 féle paraméter-variációval készültek mintalapok, amelyeket a BMGE Polimertechnika Tanszéke állított elő. Ezeknek a kompozitoknak a mechanikai tulajdonságait határoztuk meg, illetve fröccsöntött ablakkeretből származó mintákon is végeztünk mechanikai vizsgálatokat [1] és morfológiai vizsgálatokat (SEM – pásztázó elektronmikroszkópos technikával).

Az ATT vizsgálatainak leghangsúlyosabb részét a CT vizsgálatok jelentették (mintalapokon és ablakkereteken). A pályázat keretén belül, nemzetközi közbeszerzési eljárás során, beszerzésre került egy Y. Cheetah FXE 160.51 típusú multifókuszú röntgen berendezés (1. ábra), amely geometriai nagyítása 2000 X-es, irányítása CNC vezérelt, nyitott multifókuszú (MFT) röntgensóvel rendelkezik, csőtéljesítménye max. 64 W, a vizsgált objektum precíz részleteinek kimutatására alkalmas (< 1 μm , < 350 nm MFT-vel), a röntgen intenzitás ellenőrzésére TXI szabályozással rendelkezik, valós idejű leképező szoftvere FGUI 3.1, AIM Zoom. Képpalkotó szoftvercsomag is beszerzésre került, mégpedig a VG Studio MAX 3.0.



1. ábra Y. Cheetah FXE 160.51 típusú multifókuszú röntgen berendezés, áttekintő kép a berendezésről (balra), vizsgáló kabin (jobbra)

Az üvegyöngyökkel társított PP mátrixú kompozit mintákon 2D leképezéseket és 3D rekonstrukciókat készítettünk, amelyek segítségével lehetővé vált az üvegyöngy tartalom meghatározása a vizsgálati hely függvényében, továbbá az üvegyöngy átmérő-eloszlás feltérképezése a vizsgálati térfogatban [2, 3].

3. Pályázati projekt (2) – Versenyképességi és Kiválósági Együttműködések (VKE) programban nyertes pályázat

A pályázat megnevezését, a pályázati azonosítót és a konzorciumi tagokat a 2. táblázat foglalja össze.

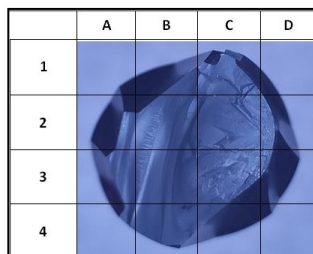
2. táblázat A VKE pályázat főbb adatai

<p>A pályázat megnevezése: Intelligens, prediktív szerszámfelügyeleti eljárások kidolgozására és rendszer kialakítására, valamint a fejlesztés fenntartására alkalmas kutatási együttműködés létrehozása</p>
<p>Pályázati azonosító és a megvalósítás időtartama: 2018-1.3.1-VKE-2018-00041 (2019-2022)</p>
<p>Konzorciumi partnerek: KÁTA CNC Ipari és Kereskedelmi Kft., Szentlőrincváta (konzorcium vezető); MATE Gödöllő; ÓE BGK Budapest</p>

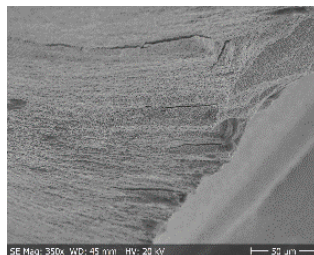
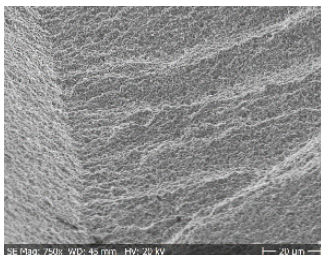
A projekt célja egy a jelenlegi rendszereknél fejlettebb, komplexebb adaptív rendszer kifejlesztése volt, amely a szerszámok tönkremenetelét képes előre jelezni, a szerszámtörés, illetve a selejt termék gyártása előtt képes beavatkozni a gyártási folyamatba. A kidolgozott rendszer, a szerszámról és környezetéről, érzékelők segítségével kapott jelek alapján javasol módosításokat, illetve meghatározza a várható kritikus meghibásodási időpontot. Külön hangsúlyt fektetett a projekt a rezgésméréssel történő hibaesemények megelőzésére (pl. frekvenciaváltozás) és ennek kiterjesztésére más bejövő adatok összevetésével (pl. rezgésmérés és a főorsó áramfelvételének mérése).

Az ÓE-BGK-ATT feladata ebben a projektben is több területet foglalt magában, amelyek közül a legfontosabbak az alábbiak voltak: 1) roncsolásmentes és roncsolásos anyagvizsgálati kísérletek tervezése, 2) vizsgálatra kapott forgácsoló szerszámok azonosítása, szerszámgeometriai vizsgálatok végrehajtása, töretfelületek vizsgálata sztereomikroszkóppal, elektronmikroszkópos vizsgálatok (SEM), 3) roncsolásos vizsgálatok: keménységvizsgálat, indentációs törési szívósság vizsgálata, koptató vizsgálat, metallográfiai vizsgálatok a forgácsoló szerszámok belső szerkezetére vonatkozóan.

A törésfelületek rendszerezése szempontjából sztereomikroszkópos vizsgálattal törethétképeket készítettünk (2. ábra), a törési folyamat részleteinek jellegzetességeit elektronmikroszkópos vizsgálattal detektáltuk (3. ábra). A forgácsoló szerszámok anyagának töréssel szembeni ellenállóképességét indentációs törési vizsgálattal minősítettük [4]. Forgácsolási kísérleteket is végeztünk, amely során vizsgáltuk a szerszámra ható erő nagyságát, valamint a szerszám kritikus (törési) tönkremenetelét különböző forgácsolási paraméterek hatására [5, 6].



2. ábra Forgácsoló szerszám törethétképe



3. ábra Felületi barázdáltság szerszám törethétfelületén (balra), repedések a törethétfelületen (jobbra)

4. Pályázati projekt (3) – Piacvezérelt Kutatási Fejlesztési és Innovációs (Piaci KFI) programban nyertes pályázat

A pályázat megnevezését, a pályázati azonosítót és a konzorciumi tagokat a 3. táblázat összesíti.

3. táblázat A Piaci KFI pályázat főbb adatai

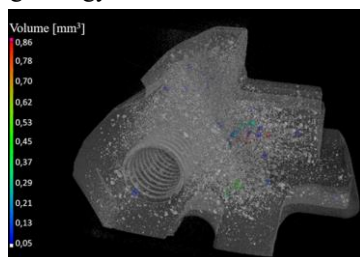
A pályázat megnevezése: Öntvény-mikrohibákat kimutató, gyártásba integrálható, robotizált, új minőségellenőrzési technológia és berendezés kifejlesztése
Pályázati azonosító és a megvalósítás időtartama: 2019-1.1.1-Piaci KFI-2019-00462 (2019-2023)
Konzorciumi partnerek: Richard Fritz Kft., Aszód (konzorcium vezető); ÓE BGK Budapest

Az autópári gyártó- és beszállító vállalkozások a növekvő minőségügyi igényeket számos esetben nem tudják gazdaságosan teljesíteni a gyártósor végén elhelyezett ellenőrző állomásokkal (EOL – End of Line). A projekt célja egy olyan BOL (Begin of Line) ellenőrző technológia és ellenőrzőrendszer létrehozása volt, amely nyomásos öntéssel készült öntvények mikrohibáit képes kimutatni és ezáltal a későbbi anyagmegmunkálás sikeressége is biztosíthatóvá válik.

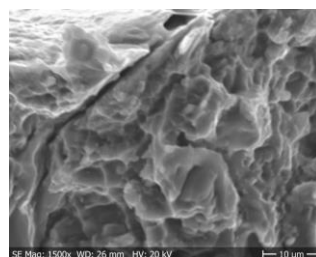
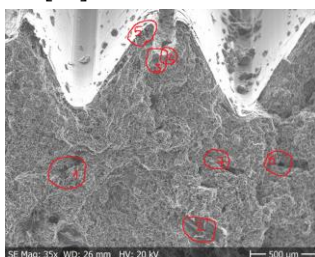
A gépjárművekben alkalmazott klímakompresszorok nyomás alatt működő öntvényháza szivárgás és nyomásvesztés nélkül kell, hogy feladatát ellássa. A nyomásos öntés technológiájából adódóan az öntött darabokban különböző belső és akár az öntvény felületére is kilépő hibák fordulhatnak elő: zsugorodási (szívódási) üregek, pórusok (bezárt levegő vagy öntési gázok eredményeként), a leválasztó anyag hőre történő bomlásából származó maradványok, oxidbezáródások, repedések, egyéb folytonossági hiányok és inhomogenitások. Klímakompresszorokban jellemzően előforduló inhomogenitások, a barlangszerűen összekapcsolódó zsugorodási üregek, a pórusok és az oxid zárványok. Az ipari gyakorlatban az öntvények szivárgásmentességének elérésére leggyakrabban gyantával történő vákuumos impregnálást alkalmaznak.

A projekt szakmai részéhez kötődően az ÓE-BGK-ATT legfontosabb feladatai az alábbiak voltak: 1) a szivárgás lehetséges útvonalainak és mechanizmusainak pontosítása, 2) a szivárgási útvonalak anyagvizsgálattal feltárható jellegzetességeinek meghatározása, 3) a szivárgási útvonalak roncsolásmentes detektálási lehetőségeinek azonosítása és 4) az impregnálás megvalósíthatósági feltételrendszerének vizsgálata.

A projekt anyagvizsgálati részét tekintve elsősorban arra kerestünk választ, hogy milyen üregrendszerrel és porozitási szinttel jellemezhetők a vizsgálati darabok, illetve impregnálás miként záródnak be a szivárgási útvonalak [7,8,9]. A 4. ábra ipari CT-vel készített 3D rekonstrukció által mutat példát a hibahelyekre. A kompresszorház funkciói felületei forgácsolással készülnek, a menetes részek forgácsolással vagy képlékeny alakítással kerülnek kialakításra. Képlékeny alakítás (mentformázás) után is a menetszelvény sok pórust tartalmazhat, elektronmikroszkópos vizsgálattal sikerült kimutatni, hogy a szivárgási üreg kifuthat a menet felületére is (5. ábra), amely potenciális hibahelynek minősül a gáztömörség szempontjából. Az impregnálási művelet komplex matematikai modellezése eredményeként meghatározásra került az a minimális kapillaris sugár, amelynél elégtelen gyanta-telítődésről beszélhetük [10].



4. ábra CT vizsgálattal kimutatott öntvényhibák



5. ábra Menetformázással készített menet jelölt anyaghibákkal (balra), szivárgási csatorna kifutása a menet felületére (jobbra)

5. Szakértői megbízás – Paks 2 reaktortartály gyártástechnológiai értékelése

A szakértői értékelés az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) megrendelésére (OAH-ABA-07/22) készült. A reaktortartály gyártástechnológia értékelése annak megállapítására irányult, hogy a rendelkezésre bocsájtott dokumentációban a folyamat leírása elfogadható-e a kijelölt szakmai területek mérlegelésével, a gyártás műveleti sorrendje, és a folyamat során alkalmazandó ellenőrzési pontok, ellenőrzési eljárások és elfogadási kritériumok egyértelműen meghatározásra kerültek-e a dokumentációkban. A fenti szempontrendszert figyelembe véve értékeltük a reaktortartály egyes szerkezeti elemeinek gyártástechnológiáját: perem, két csonkzóna gyűrű (felső és alsó), támasztó gyűrű, alsó gyűrű (az aktív zóna körüli) és elliptikus fenék.

A szakértői értékelés, összhangban a szerződésben megfogalmazottakkal, kiterjedt az alkalmazott acélminőségek gyártási technológiára, az acéolvadék kezelésére, a tuskóméretre és a hidrogénmentesítés vizsgálatára; a kovácsolásra, mint alaptermőológiára, ezen belül az alakítási lépések értékelésére, a közbenső megmunkálás és hőkezelés vizsgálatára, a roncsolásmentes vizsgálatokra és a mechanikai tulajdonságok ellenőrzésére. Az értékelés felölelte továbbá a pelyhesedéssel kapcsolatos elemzéseket is (a 2014-es Doel3 és Tihange2 atomerőművek reaktortartályainak hidrogén okozta pelyhesedéssel kapcsolatos információ alapján).

A szakértői jelentés 92 megállapítást fogalmazott meg, a megállapítások tartalmi részére vonatkozóan ismertetés nem közölhető, az aláírt titoktartási záradék értelmében.

6. Összefoglalás

Az elmúlt években az Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék munkatársai több sikeres konzorciumi projekt megvalósításába kapcsolódtak be. Ahogy a vázolt projektek is jelzik, kompozitanyagok vizsgálatától kezdve, szerszámanyagok kutatásán át, nyomásos öntéssel készült alkatrészek hibafeltárásáig, valamint atomenergetikai berendezések gyártástechnológiájának értékeléséig bezárólag, nagyon széles az a terület, ahol a tanszéki munkatársak tudása, problémamegoldó készsége hasznosítható.

Köszönetnyilvánítás

Az (1) és (2) pályázati projekt szakmai vezetőjeként, valamint Prof. Dr. Réger Mihály a (3) pályázati projekt és a Szakértői megbízás szakmai vezetőjének nevében, szeretnék köszönetet mondani az ATT minden munkatársának, aki bármilyen módon (irodalomkutatás, kísérletek tervezése és végrehajtása, jegyzőkönyv készítése, összesítő/összefoglalók készítése...) hozzájárult az adott projektek sikeres megvalósításához.

7. Hivatkozások

- [1] Ráthy, I., Pinke, P., Huszák, Cs.: Polipropilén mátrixú fröccsöntött kompozitok mechanikai vizsgálatai. *Acta Materialia Transylvanica* 1/2 (2018), 105-109. <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0039>
- [2] Ráthy, I., Pinke, P., Fábíán, E., R., Nagyné, H., E.: Polimer mátrixú kompozitok töltőanyag tartalmának vizsgálata. In: Horváth, R., Beke, É., Stadler, R., G.: *Mérnöki Szimpózium a Bánkiban* (ESB 2019), Óbudai Egyetem, Budapest, 29-32. <http://bgk.uni-obuda.hu/esb/2019>
- [3] Ráthy, I., Pinke, P., Fábíán, E., R., Nagyné, H., E.: Structural Investigation of Granular Composites by Modern Methods. *International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS)* Vol. 5. (2020). No. 2, 179-185. DOI: 10.21791/IJEMS.2020.2.23.
- [4] Réger, M., Gáti, J., Nagyné, H., E., Horváth, R., Pinke, P.: WC-Co szerszám indentációs törési szívósságának meghatározása. In: Horváth, R., Beke, É., Stadler, R., G.: *Mérnöki Szimpózium a Bánkiban* (ESB 2020), Óbudai Egyetem, Budapest, 7-12. <http://bgk.uni-obuda.hu/esb/2020>
- [5] Horváth, R., Fábíán, E., R., Stadler, R., G., Pinke, P.: Marószerszámok erőtani és tönkremeneteli vizsgálata. *GÉP* 72: 3-4, 35-41, (2021)
- [6] Pinke, P., Horváth, R., Stadler, R., G., Rácz, V.: Erőtani és tönkremeneteli vizsgálat korrózióálló acél marása során. In: Horváth, R., Lukács, J., Stadler, R., G.: *Mérnöki Szimpózium a Bánkiban* (ESB 2021), Óbudai Egyetem, Budapest, 160-165. <http://bgk.uni-obuda.hu/esb/2021>
- [7] Horváth, R., Réger, M., Oláh, F.: Characterisation of defects in die cast aluminium parts. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1246 (2022) 012016, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1246/1/012016>
- [8] Horváth, R., Réger, M., Gáti, J., Oláh, F.: Nyomásosan öntött alumínium alkatrész folytonossági hibáinak jellemzése. *ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA 2021/IV.*, 6-11.
- [9] Réger, M., Gáti, J., Horváth, R., Fábíán, E., R., Oláh, F., Huszák, Cs., Bubonyi, T.: Gáztömör nyomásos alumínium öntvény porozitásának roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálata. *ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA 2023/I.*, 17-24.
- [10] Réger, M. et al.: Modelling the impregnation of a pressure-tight casting, *Inter Metalcast* (2024), <https://doi.org/10.1007/s40962-024-01272-1>.



Az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

Doctoral School on Materials Sciences and Technologies

¹Réger Mihály, ²Borsa Judit

¹Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, reger@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, borsa.judit@rkk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az Óbudai Egyetem Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolája 2012-ben kezdte meg működését. Tevékenységének alapvető célja, hogy a hallgatók a doktori képzés és kutatás megvalósításával kiemelkedő anyagtudományi szakemberekké váljanak, miközben kutatási eredményeikkel érdemben gazdagítják a hazai és nemzetközi anyagtudományi és technológiai tudást. A doktori iskola ennek érdekében olyan kutatási témákat hirdet meg, melyek a hazai és nemzetközi anyagtudományi kutatások aktuális fókuszában állnak és melyek magas szintű műveléséhez az egyetemi és kutatóintézeti hálózatban megfelelő szakmai kompetencia és laboratóriumi háttér áll rendelkezésre.

Kulcs szavak: anyagtudomány, anyagtechnológia, kutatás, doktori képzés

Abstract

The Doctoral School on Materials Sciences and Technologies, Óbuda University started its activities in 2012. Its main goal is to enable students to become outstanding materials science experts through doctoral education and research, while enriching the national and international materials science and technology knowledge with their research results. To this end, the doctoral school will promote research topics that are in the current focus of domestic and international materials science research and for which the university and research institute network has the professional competence and laboratory background to provide a high level of expertise.

Keywords: materials sciences, materials technologies, research, doctoral training

1. A doktori iskola küldetése, rövid története

Az Óbudai Egyetem Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola (ATDI, <https://atdi.uni-obuda.hu/>) a hazai és a nemzetközi anyagtudományi és technológiai kutatási hálózat szereplőjeként minőségi doktori képzést kívánt megvalósítani és a jövőben is erre törekszik. A doktori iskola (DI) általános küldetése a tudományos elitképzés, az oktató-kutatói utánpótlás biztosítása, és a munkahelyi gyakorlattal rendelkező műszaki értelmiség tudásszintjének, szakmai tudatosságának növelése, látókörének bővítése, és ezzel a kutató- és termelőmunka színvonalának emelése. A DI az alapítási célkitűzésével összhangban törekszik az anyagtudományok és technológiák – elsősorban gyakorlatorientált területeinek – megfelelő elméleti alapotra épülő magas szintű, igényes művelésére. A reguláris képzés minőségbiztosítása mellett ezért kiemelt figyelmet fordítunk a munkájuk mellett doktorálni kívánó, gyakorlati tapasztalatokkal bíró hallgatók képzésére. A kooperatív doktori képzésre eddig egy hallgatónk pályázott sikerrel, a jövőben ezt a képzési formát bővíteni kívánjuk. A DI a lehetőségeknek megfelelően szélesíti a hazai

kutatóintézetekkel kötött megállapodások körét, illetve törekszik az együttműködési megállapodások adta keretek valós tartalommal történő kitöltésére.

Az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola 2012-ben, a könnyűipari mérnök mesterképzésre épülve kezdte meg működését. Induláskor a képzési tervben a fő tanulmányi és kutatási irányokat a nemzetközi anyagtudományi fejlesztési trendekkel összhangban határoztuk meg (polimerek, kerámiák, fémek, kompozitok, mikro- és nanorendszerek), illetve a polimereken belül kiemeltük a könnyűipari nyersanyagok korszerű alkalmazásainak fontosságát. A DI indulása óta a kutatási témák spektruma lényegesen kibővült, igazodva az anyagtudományi kutatások és alkalmazások jelentőségének több tudományterületen és tudományágban tapasztalható erősödéséhez. Ezt a tendenciát jelzi az is, hogy az egyetemek a természettudományok és műszaki tudományok területén számos mesterképzés esetében anyagtudományi és technológiai jellegű specializációt is indítanak. A DI-ben is egyre nagyobb az igény a gépész, mechatronikai és villamosmérnöki területhez kapcsolódó anyagtudományi témák művelésére. Mindhárom szak esetében számos fontos anyagtudományi kutatási terület említhető, ezek közül gépésmérnöki területen a nukleáris környezetben működő gépészeti berendezések anyagtudományi kérdéseit, mechatronikai területen az érzékelők, villamosmérnöki területen a félvezetők és napelemek fejlesztésének anyagtudományi vonatkozásait emeljük ki.

A képzés 2012-ben két (egy könnyűipari mérnök és egy vegyész) hallgatóval, az ÓE egyetemi tanárának témavezetésével indult. Az ezt követő években a hallgatói létszám – félévente változó ütemben – növekedett. A képzésbe kutatóintézetek munkatársai és más egyetemek oktatói is bekapcsolódtak, ennek is köszönhetően a tantárgy- és témakínálat bővült. Témavezetést a doktori iskolával szerződéses kapcsolatban álló intézmények (a Magyar Kutatási Hálózat = Hungarian Research Network = HUN-REN intézetei: Energiatudományi Kutatóközpont, Wigner Fizikai Kutatóközpont, Természettudományi Kutatóközpont, továbbá a Neumann János Egyetem, a Dunajvárosi Egyetem, valamint a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.) munkatársai is végeznek.

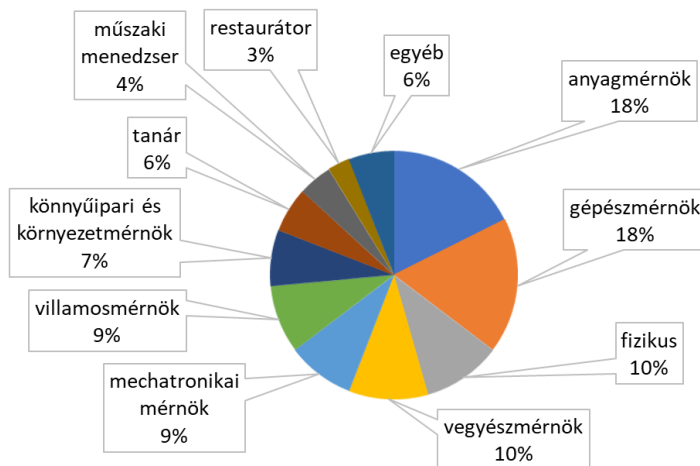
2. A doktori iskola sajátosságai

2.1 A kutatási tématerületek bővülése

A doktorandusz témáinkra általában jellemző az alkalmazott kutatási jelleg, illetve gyakori, hogy a tématerület művelése több tudományterületről igényel ismereteket (multidiszciplinaritás). Az anyagtulajdonságok és azok befolyásolási lehetőségének kutatása számos tudományterület központi kérdésköréhez kapcsolódik, ugyanakkor a gépészet, energetika, könnyűipar, villamosipar, nukleáris ipar, vagy pl. a környezetvédelem az anyagtudomány egy-egy speciális irányának kutatásában érintett. Ennek leképeződése, hogy a hozzánk érkező, az anyagtudományi kutatások iránt érdeklődő jelentkezők többféle diplomával rendelkeznek. A DI-be eddig felvett hallgatók mesterdiplomájának típus szerinti eloszlása igen változatos, ahogy ez az 1. ábra kördiagramján látható.

Az elmúlt időszakban a kutatási témák között a polimer kompozitok egyre nagyobb hangsúlyt kaptak, ezzel párhuzamosan jelentősen megerősödött a fémek, majd a kerámiák kutatási területe. A DI vezetése ezt a változást elsősorban a hallgatói megkeresések alapján érzékelte. A képzésre jelentkezők igényeire reagálva a fémek és általában a gépészeti tudományok területén, később a villamosipari anyagok területén is bővítettük a meghirdetett témák, témavezetők és tantárgyak körét. Ezen kutatási területek megerősödését elősegítette, hogy a témavezetésben, oktatásban egyre jelentősebb szerepet vállal az egyetem teljes oktatógárdája, ezen belül is elsősorban a Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, majd a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar munkatársaira tudunk alapozni.

A doktori iskolában PhD tanulmányokat folytató hallgatók egyes anyagfajtákhoz kapcsolható tématerületeinek számosságát szemlélteti 2. ábra diagramja, mely az aktív hallgatók által művelt témák halmozott darabszámát mutatja be a kutatás kezdeti időpontja függvényében. Megfigyelhető, hogy a 2016-18 közötti években növekedett meg a fémés és kerámiás témát választó hallgatók száma. Megjegyzendő, hogy a kutatási témák jórészt nehéz egyértelműen egy anyagpushoz kötni, a diagram a témákban domináns szerepet játszó anyagfajták figyelembevételével készült.



1. ábra A doktori iskolába felvett hallgatók mesterképzési szakjai

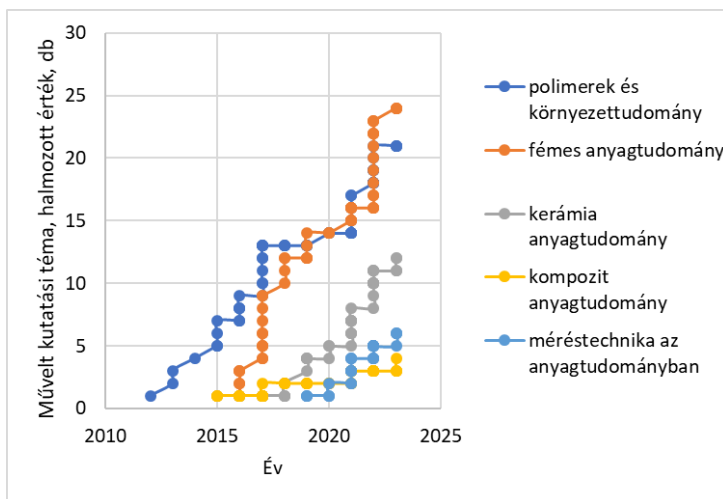
2.2 A doktori hallgatók sajátosságai, hallgatói életút

Az Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolába felvételizők az anyagtudomány különféle területeihez illeszkedő MSc diplomával (1. ábra) érkeznek. A legtöbb doktori iskolától eltérően a jelentkezők közül többen már jelentős munkahelyi gyakorlat után, saját megalapozott szakmai fejlődési igényük alapján, munkahelyük támogatásával kezdik meg tanulmányaikat, ezt igazolja a 3. ábrát diagramja. A hallgatók egy része levelező munkarendben, vagy egyéni felkészülőként kezdi meg tanulmányait.

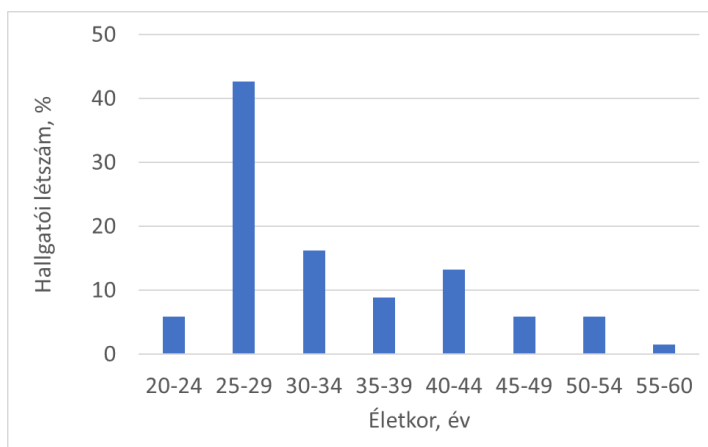
A doktori képzést hallgatóink átlagosan 30-35 éves kor között kezdik meg, a belső motiváltság révén a hallgatók tanulás és kutatás iránti elkötelezettsége erős. A kutatási tématerületek és témavezetők sokfélesége, valamint a különböző előképzettséggel, és többéves munkahelyi tapasztalattal érkező, munkahelyük számára fontos kutatás-fejlesztési témán dolgozó elkötelezett hallgatók jelentik a DI lényeges különbözőségét a többi hasonló profilú, zártabb oktatói és hallgatói bázison működő doktori iskolától, ahol többnyire a hallgatók gyakorlatilag teljes taborát az egyetem friss MSc diplomásai teszik ki. A DI rugalmasan reagál a munkahellyel rendelkező jelentkezők szakmai igényeire, eredményesen törekszik a pályázó specialitásainak megfelelő témavezetés biztosítására, és a képzési tervet is az aktuális igényeknek megfelelően alakítja. A magyar és a külföldi hallgatók, különösen a munka mellett doktorálók speciális igényeivel személyre szólóan foglalkozunk, így a magas követelmények teljesítése és az igényes disszertációk elkészítése – a munkahelyi kötelezettségek, illetve az idegen ország okozta nehézségek ellenére – lehetővé válik.

A DI minőségi PhD képzésre való törekvését az első tíz évre vonatkozó számok is igazolják (lásd doktori.hu). A DI alapítása óta összesen 68 fő került felvételre, ezek közül 36 hallgató van a képzésben (34 aktív, 2 passzív félévben), 3 fő a doktori cselekmény folyamatában van és 18-an már sikeresen megvédték doktori disszertációjukat (2023 májusi állapot). A nappali hallgatók a felvételt

követően átlagosan 1.9 év múlva komplex vizsgáznak, 3.9 év után abszolváltnak és 4.7 év elteltével doktorálnak.



2. ábra Az ATDI-ben aktív doktori témáinak számossága fő kutatási irányonként



3. ábra Az ATDI hallgatók életkora a doktori tanulmányok kezdetén

2.3 A doktori iskola vezetése, tőrzstagjai

A doktori iskolát az alapítástól 2016. február végéig dr. Borsa Judit, ezt követően 4 éven keresztül dr. Vajda István vezette. 2020. januárjától dr. Réger Mihály a DI vezetője, munkáját dr. Borsa Judit DI vezető helyettesként segíti. A DI titkára Bereczki Bálint kollégánk, aki egyben az ODT kapcsolattartás felelőse is. Jelenleg a DI munkáját mintegy 100 kolléga segíti tőrzstagként, témavezetőként, témakiíróként, illetve oktatóként, melynek megoszlása az ODT adatbázisban nyomon követhető (https://doktori.hu/index.php?menuid=191&lang=HU&di_ID=194). Az ÓE belső, valamint a kutatóintézeti munkatársak mintegy fele-fele arányban vesznek részt a DI munkájában.

Az elmúlt időszakban a hallgatói összetételhez és a fő kutatási irányokhoz igazodóan megújult és bővült a DI törzstagjainak összetétele és száma. Jelenleg 11 törzstag gondozza a doktori képzést, közülük 8 kolléga kinevezett egyetemi tanár, 2 kutató a HUN-REN munkatársa, 6 törzstag DSc tudományos fokozatos, közülük egy az MTA külső tagja. A nem prof. emer. törzstagok (10 fő) átlagéletkora 59 év, a legfiatalabb 50 éves, a legidősebb törzstag kolléga 68 esztendő.

Törekszünk arra, hogy az anyagtudományi kutatási tématerületek és a törzstagok által képviselt tudományos aktivitás megfelelő összhangja jellemezze a DI munkáját. A 11 törzstag közül 8 fő az anyagtudományok és technológiák, 2 törzstag a fizikai tudományok, 1 kolléga pedig a villamosmérnöki tudományág anyagtudományi vonatkozásait képviseli. A törzstagok kutatási területe és publikációs tevékenysége jórészt lefedi a fémek, polimerek, kerámiák, kompozitok, textilek, nanoszerkezetek, villamosipari anyagok, energetikai és nukleáris anyagok és az anyaginformatika területét. A törzstagi utánpótlás tervezett módon történik, 2024-ben egy, 2025-ben két új egyetemi tanár törzstag felvétele történhet meg, mindhárom kolléga az anyagtudományok és technológiák tudományágban tevékenykedik.

A DI működését hat munkatársunk megbízásos jogviszonyban segíti az általános adminisztráció, a gazdasági ügyek intézése, a hallgatói kapcsolattartás és ügyintézés, a honlapok (doktori.hu, atdi.uni-obuda.hu) karbantartása, valamint a személyes és online események (online, vagy hibrid védés, habilitáció) lebonyolítása területén.

2.4 Témavezető és oktató munkatársak

A kutatási témák, témavezetők és a hallgatók sokfélesége a képzés megfelelő rugalmasságát igényli. A képzési terv az igényeknek és lehetőségeknek megfelelően új tárgyakkal és témákkal folyamatosan bővül. A témavezetők és oktatók kiválasztásának alapvető szempontja az iskolába felvett hallgatók tanulmányi és kutatási igényei, elvárásai. Témavezető lehet az ÓE jelenlegi vagy korábbi (emeritus, emerita) munkatársa, de ha a doktorandusz témája azt igényli, külső szakértő bevonására is sor kerül. A témavezetőtől elvárt a vonatkozó szabályoknak való maradéktalan megfelelés, legyen tudományos fokozata, rendszeresen végezzen magas szintű tudományos munkát, publikáljon, TDK, szak-, és diplomadolgozatok, esetleg korábbi PhD munkák sikeres témavezetésével igazolja alkalmasságát. A témakiírók és témavezetők kiválasztása azonos szempontrendszer mentén zajlik, mivel a témakiíró – a tématerülethez illeszkedő doktorandusz jelentkezése esetén – témavezetővé válhat. Tapasztalatunk szerint a témavezetés sikeressége alapvetően a kutatási témán (jól körülhatárolt, konkrét, megfelelő szakmai tartalmú, reálisan megvalósítható stb.) és – nem kis mértékben – a leendő témavezető habitusán, együttműködő készségén múlik.

A DI-ben jelenleg 38 témavezetőnek összesen 45 aktív hallgatója van, így az egy témavezetőre jutó hallgatók átlagos száma 1.18 fő. A DI-ben a legnagyobb hallgató/témavezető arányszám 3 (1 témavezető esetében), 1 és 3 közötti hallgatót irányít 11 témavezető, 1, vagy 0.5 témavezetettje pedig 26 munkatársunknak van. A doktori képzésben szerepet vállaló 101 kolléga több, mint felének, 52 főnek volt, vagy jelenleg is van témavezetettje az ATDI-ben. A DI-ben aktív témavezetők eddig országos szinten összesen 184 doktorandusszal foglalkoztak, illetve foglalkoznak, ezek közül 101 hallgató már sikeresen megszerezte a fokozatát. Ebből adódik, hogy a témavezetők átlagosan legalább két doktoranduszt már végig kísérték a doktori fokozatszerzés folyamatán, vagyis a DI témavezetői komoly gyakorlattal bírnak ezen a területen.

A DI-ben aktív témavezetőkön felül 23 kolléga szerepel még olyan választható témával, melyre eddig még nem jelentkezett hallgató. Az ő esetükben a fenti két arányszám 5.4 PhD hallg/fő és 3.6 végzett PhD hallg/fő értékre adódik, azaz ezen kollégák témavezetésben való jártassága – és a témaválaszték sokszínűsége – komoly tartalékot jelent a DI jövőbeni működéséhez.

Összességében 54 munkatársunk végez tantárgyi oktatási tevékenységet is a DI-ben. A tantárgyak száma jelenleg 103 db, egy oktató kolléga átlagosan 2 tantárgyat jegyez. Az elérhető tantárgyak relatíve nagy számát a kutatási témák szerteágazó jellege miatt tartjuk fontosnak. Az eddigi tapasztalatok (hallgatói és témavezetői visszajelzések) alapján a doktoranduszok számára a képzés során az egyik legnagyobb kihívás a két IF-es cikk publikálása, így a következő évben kötelező tantárgyat vezetünk be „Scientific paper writing in practice” címmel. Az egységes anyagtudományi ismeretanyag átadása érdekében szintén kötelező jelleggel egy „Válogatott fejezetek az anyagtudományból” című tantárgy bevezetését is tervezzük.

3. A felvételtől a nyilvános védésig

A DI alapvető célja, hogy a hallgatók által végzett kutatás új és előremutató eredményekkel gazdagítsa az anyagtudományi és technológiai tudást. A DI ennek érdekében olyan kutatási témákat hirdet meg, melyek a hazai és nemzetközi anyagtudományi kutatások aktuális fókuszában állnak és melyek magas szintű műveléséhez az egyetemi és kutatóintézeti hálózatban megfelelő szakmai kompetencia és laboratóriumi háttér áll rendelkezésre. A felvételi folyamatnak a DI működésében ezért különös jelentősége van, célunk, hogy a felvett hallgatók lehetőleg a tanulmányi idő alatt sikeresen teljesítsék a tanulmányi, publikációs és fokozatszerzési követelményeket.

A tanulmányi és kutatási előrehaladásról folyamatos kontrollja és támogatása érdekében a hallgatók a doktori képzés minden féléve után Doktorandusz Házikonferencián számolnak be a hallgatóság és a DI Tanácsának tagjai előtt (<https://atdi.uni-obuda.hu/doktorandusz-hazikonferencia/>). A beszámoló elkészítéséhez a hallgatók számára kiadott szempontrendszer már az első félévtől választ kér többek között a megírandó disszertáció szerkezetére (tartalomjegyzék) és tudományos tartalmára (tervezett tézisek) vonatkozóan is. Ez a megközelítés arra szolgál, hogy a hallgatóban már az első félévtől kezdődően tudatosuljon, mi is a tudományos tevékenységének végső célja, illetve hol tart az ehhez szükséges munka teljesítésében. A beszámolók elkészítése, valamint a bíráló bizottság tanácsai és véleménye félévről-félévre abban segíti a hallgatót, hogy a doktori kutatásának menetére tényleges rálátása legyen, a szükséges korrekciókat el tudja végezni. A témavezető támogatása mellett ez a visszajelzés sorozat segíti leginkább a hallgatót a tanulmányai és kutatása sikeres elvégzésében. A fokozatszerzés publikációs követelményeit a hasonló profilú doktori iskolák legjobbjaihoz mérve határozta meg a DI Tanácsa (5 közlemény, ebből 2 Scopus vagy Web of Science adatbázisban elérhető folyóiratcikk impakt faktoral). A képzési, vizsgáztatási és védési folyamat értékelésére a hazai, és esetenként a nemzetközi tudományos élet elismert szakértőit hívjuk meg.

Köszönetnyilvánítás

A doktori iskola vezetése ezúton mond köszönetet az iskola képzési programjainak megvalósításában korábban és jelenleg közreműködő témavezetőnek, oktatónak, segítő munkatársnak, valamint az értékelési folyamatokban szerepet vállaló bírálóknak, vizsga- és védési bizottsági tagoknak, hazai és külföldi partnereknek. Külön köszönjük az idén 60 éves Anyagtudományi és Technológia Tanszék kollégáinak szakmai támogatását, munkáját.



Új lehetőségek az anyagtudományi kutatásokban a SZE ATT tanszékkel

New opportunities in materials science research with the SZE ATT department

¹Hargitai Hajnalka

¹Széchenyi István Egyetem, Győr, Magyarország, hargitai@ga.sze.hu

Összefoglalás

A Széchenyi István Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Tanszék (SZE ATT) jogelődje és az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék jogelődje között több évtizedre visszanyúló közös szakmai munka, kapcsolódási pontok vannak. Karizmatikus vezetők, oktatók és kutatók, diákok révén jelenleg is aktív szakmai együttműködés folyik. A SZE ATT Tanszék kutatási irányai és elért eredményeinek bemutatása további kapcsolódási pontokat indukálhat. A cikkben egy-egy kiemelt kutatási terület és annak fontosabb eredményei kerülnek bemutatásra.

Kulcs szavak: lemezalakíthatóság, biokompozit, nagyentrópiás ötvözetek, 3D fémnyomtatás, nanokerámia adalék

Abstract

The legal predecessor of the Department of Materials Science and Technology of István Széchenyi University and the legal predecessor of the Department of Materials Technology Bánki Donát Institute of the Mechanical and Safety Engineering Faculty of Óbuda University have shared professional work and points of connection going back several decades. Active professional cooperation is currently ongoing through charismatic leaders, instructors and researchers, and students. The presentation of the research directions and achieved results of the SZE ATT Department may induce additional points of connection. In the article, one prominent research area and its most important results are presented.)

Keywords: sheet metal forming, biocomposite, high entropy alloys (HEA), metal powder laser sintering, nanoceramic additive

1. Visszatekintés a két Anyagtudományi tanszék kapcsolódási pontjaira

A Széchenyi István Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Tanszék jogelődje és az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék jogelődje között több évtizedre visszanyúló közös szakmai munka, kapcsolódási pontok vannak. Karizmatikus vezetők, oktatók és kutatók, diákok révén jelenleg is aktív szakmai együttműködés folyik. Dr. Czinege Imre 1966-ban kezdett dolgozni az akkori Bánki Donát Műszaki Főiskolán, ahol később 1990-1997 Főigazgató volt. 2000-tól a Széchenyi István Főiskola egyetemi tanára, majd 2002-2005 között a SZE első rektora volt. Dr. Réti Tamás párhuzamosan oktatott a két tanszéken, 1 évre a SZE ATT Tanszékvezető egyetemi tanára volt. Több közös szakmai projektben

dolgoztak együtt, a két tanszék kollégái és részt vettek 1993-tól a KTMF-Bánki Donát Főiskola-Nottingham Trent University (NTU) –Integrated Engineering BSc (a mechanikai mérnök képzés elődje) képzésben, Dr. Csizmazia Ferencné és Dr. Czinege Imre aktív közreműködésével. A két tanszék kollégái aktív közéleti tevékenységet folytatnak az MTA Anyagtudományi és Technológiai Tudományos Bizottságban és közös témavezetésben (Hargitai Hajnalka, Kovács Tünde Anna) 2024. január 30-án sikeres PhD védéssel zárult Kónya János doktori kutatómunkája.

2. A SZE Anyagtudományi és Technológiai Tanszék kiemelt kompetenciái

A Széchenyi István Egyetem Anyagtudományi és Technológiai tanszéke több, jól felszerelt laboratóriummal rendelkezik, a NAH akkreditált Anyagvizsgáló Laboratórium, Hegesztő laboratórium, Ipari röntgen, CT laboratórium, Polimertechnológia laboratórium és fém additív laboratórium. Ezek alapján az alábbi főbb kompetencia területeket definiáltuk:

- Additív gyártás (fém, műanyag)
- 3D képalkotás (CT, Fókuszvariációs mikroszkóp, GOM)
- Széleskörű anyagvizsgálat (mechanikai, környezethatás és roncsolásmentes)
- Káranalízis
- Anyagfejlesztés (polimer kompozit, nanokompozit, lágymágneses anyagok, polimer habok, fém habok)

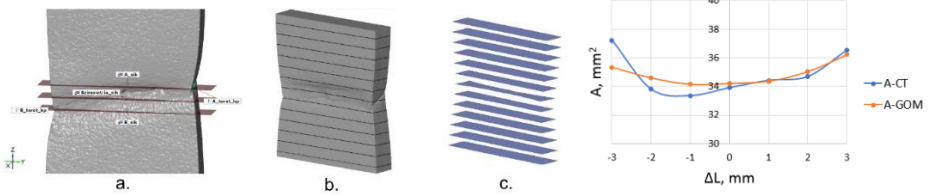
A fenti kompetencia területeken az utóbbi néhány évben több PhD értekezés született és jelenleg is aktív PhD és K+F kutatói munka folyik a tanszéki laboratóriumokban.

A tanszék számos hazai és nemzetközi pályázatot zárt eredményesen az utóbbi két évtizedben. A jelenleg aktív pályázatokban egészségtechnológiai kutatásokhoz kapcsolódó anyag és technológia fejlesztési kísérleteket végzünk, egy magyar és két H2020 pályázathoz kapcsolódóan, valamint TKP2021-NVA-23 pályázatban védelmi rendszerek anyagainak kutatásával, illetve a TKP2021-NKTA48 projektben digitális technikák alkalmazásának lehetőségeit kutattuk anyagtechnológiai kutatásokban. Mindkét pályázatban több területen aktív kísérleti tevékenység folyik, az utóbbi pályázat főbb kutatási területei kerülnek bemutatásra röviden, az alábbi tématerületeken és kutatás vezetőkkel:

- Alumínium ötvözetek alakíthatóságának elemzése (Dr. Czinege Imre)
- Környezetbarát polimer kompozitok fejlesztése (Dr. Lendvai László)
- Spinodális bomlás jelenségének vizsgálata fém 3D nyomtatott mintákon (Dr. Kocsis Bence János)
- Nanorészecske tartalmú homogén olajminta előállítása és vizsgálata (Szabó Ádám István)

2.1 Alumínium ötvözetek alakíthatóságának elemzése

A digitális technikák alkalmazása az anyagtudományi kutatások területén forradalmi változásokat hozott. Ez részben a műszeres mérések fejlődésében, részben pedig a mérési eredmények értékelésében jelentett olyan minőségi ugrást, amely az ismeretek jelentős bővüléséhez vezetett. A mérés technikában a digitális képkorrelációs technikák alkalmazása lehetővé tette a lemezek alakításakor jelentkező helyi alakváltozások nyomon követését és számszerű értékelését, amely pontosította az alakíthatóság határát és a törés folyamatának előrejelzését. A két- és háromdimenziós méret- és alakváltozások mérésére alkalmas laboratóriumi berendezések nagy segítséget nyújtottak az említett folyamatok megértésében (1. ábra) [1,2].

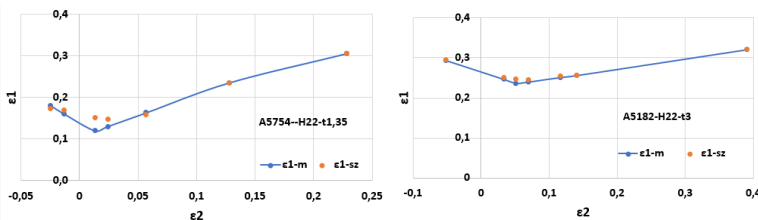


1. ábra Alumínium lemez szakítóvizsgálatához kapcsolódó CT-vel készített modell és a keresztmetszetek értékelése [1]

A mérési eredmények feldolgozásában a mesterséges intelligencia alkalmazása jelenti azt a minőségi ugrást, amellyel nagy mennyiségű adat elemzése újszerűen valósítható meg. A kutatás során alkalmazott mesterséges neurális hálón alapuló közelítő számítások a korábbiánál pontosabban és sokoldalúbban jellemzik az alakítás folyamatát, és ezzel segítik a járműipari technológiák fejlődését.

A projektben mesterséges neurális hálón alapuló modelleket fejlesztettünk ki az alumínium-magnézium ötvözetekből készült lemezekre az alakíthatósági határgörbék becslésére szakítóvizsgálati eredményekből. Ehhez a kísérleti adatokat szakítóvizsgálatok és a Nakazima tesztek eredményei alapján határoztuk meg. A szakítóvizsgálat paraméterei a folyáshatár, szakítószilárdság, egyenletes és szakadási nyúlás, míg az alakíthatósági határgörbék hét mért első és második főnyúlás ponttal kerültek meghatározásra. A mesterséges neurális háló tréningje után a mért és számított eredményeket lineáris regresszióval hasonlítottuk össze. Bizonyítható volt, hogy magas korrelációs együtthatók állnak fenn a számított és mért értékek között a neurális háló alkalmazásával készült modellnél [3, 4].

AlMg3 (A5754) és AlMg4,5 (A5182) lemezekre végzett konkrét elemzésből, ahol az alakíthatósági határgörbék mért és számított pontjainak kapcsolatát vizsgáltuk (2. ábra) igazolható, hogy a szakítóvizsgálat négy jellemző paramétere együttesen alkalmas az alakíthatósági határgörbe pontjainak becslésére. Ez a korábbi elemzésekhez képest előrelépést jelent, mivel azokban például az alakíthatósági határgörbe minimumára alkalmazott közelítések egy-két paraméteren alapultak, ezért csak laza kapcsolatokat írtak le, ezzel szemben a többváltozós nemlineáris modellek kiváló eredményeket adnak [3].



2. ábra AlMg3 (A5754) és AlMg4,5 (A5182) lemez mért és számított alakíthatósági határgörbéjének összehasonlítása [3]

2.2 Környezetbarát polimer kompozitok fejlesztése

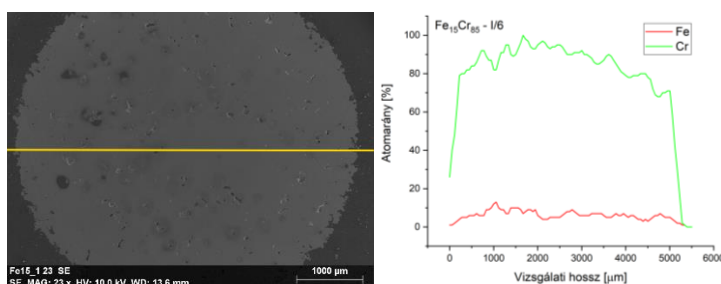
A polimer kompozitok fejlesztése során az elsődlegesen szem előtt tartott tényező a pályázathoz kapcsolódó kutatásokban a fenntarthatóság. Ennek szellemében újrahasznosított hagyományos polimer (PP, PET) alapú, illetve megújuló erőforrásból származó politejsav (PLA) alapanyagú,

természetes eredetű töltőanyagokkal társított kompozitokkal foglalkoztunk. Töltőanyagként a mezőgazdasági tevékenységek, illetve a bányászat során keletkező melléktermékeket használtunk, pl. szalma őrlemény, illetve a márványpor. A gyártott anyagok tulajdonságait korszerű digitális technológiákkal minősítettük. A vizsgált tulajdonságokat, valamint az anyagok költségét, illetve környezetbarát jellegének számszerűsített értékét is figyelembe véve matematikai módszerek segítségével rangsoroltuk a létrehozott anyagokat annak megállapítása céljából, hogy azok közül melyek a legelőnyösebbek [5-11].

2.3 Spinodális bomlás jelenségének vizsgálata vas-króm ötvözeteken

Kutatásunk során fém 3D nyomtatással (EOSINT M270 porágyas lézerszinterező berendezés), elemi porok keverékéből előállított különböző vas-króm ötvözeteken (Fe45Cr55; Fe15Cr85 és Fe75Cr25) kíséreltük meg detektálni a spinodális bomlás jelenségét a mágneses tulajdonságok, a termofeszültség és a keménységértékek mérése révén.

A minták összetételének homogenitását SEM EDX vizsgálattal ellenőriztük (3. ábra). Ez utóbbi azért kiemelten fontos, mert az összetételi inhomogenitás nem engedi a fázisszétválás nanoméretű megvalósulását, amíg makroszkopikus szinten heterogén a szerkezet.



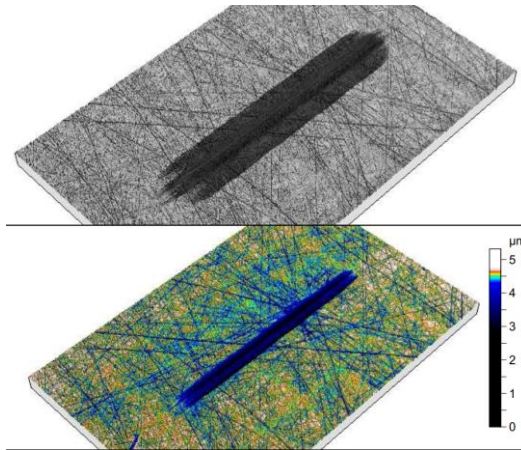
3. ábra Fe15Cr85 minta horizontális metszetén végzett SEM vonalmenti összetételvizsgálat [12]

A spinodális bomlás egy nanoméretű tartományba eső diffúziós fázisszétválás, amely a duplex korrózióálló acélok mechanikai tulajdonságainak romlásáért felelős. A fázisok szétválása vas-króm ötvözetrendszer esetén 300 - 600 °C között megy végbe. A króm, mint ötvözőelem kulcsfontosságú szerepet játszik a rozsdamentes acélok ötvözése során, ugyanakkor ez felelős a spinodális bomlás bekövetkezéséért is. A folyamat vizsgálati módszereinek fejlesztése és a bomlási folyamat időben történő felismerése nagy figyelmet kelt az iparban is, mivel a korrózióálló acélok nagymértékű elridegedéséhez vezet. A számos negatív példa mellett bizonyos alkalmazások esetén előnyei is vannak a bomlási folyamatnak, mint például a mágneses tulajdonságok változása és az alnico mágnes előállítás [12].

2.4 Nanorészecske tartalmú homogén olajminta előállítása és vizsgálata

A kenőolajok, kenőanyagok szerves részei a belsőégésű motoroknak, járműiparnak ezzel együtt pedig a környezetszennyezésre is hatással vannak. Olyan új kenőolaj adalékokat vizsgálunk, melyek képesek a hagyományos kémiai adalékok kiváltására és a jövő potenciális adalékai lehetnek. Ezek közé tartoznak a kerámia nanorészecskék is, melyek méretükből adódóan könnyen bejutnak a kenési

helyekre és ígéretes súrlódás- és kopás csökkentő hatást mutatnak. Az apró kerámiaszemcsék az olajba keverve egy idő után leülepednének, ezzel elvesztve a kedvező tulajdonságaikat. A jelenség megoldására a nanorészecskék (TiO_2 és SiO_2) felületén egy olyan réteget hozunk létre, mely segíti az olajjal való elegyedést és a hosszútávú tartósságot – ezt hívjuk felületmódosításnak. Súrlódási tesztek végeztünk, melyeket követően az alkatrészek kopását digitális mikroszkópos technikákkal vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a nanoadalékok alkalmazásával enyhe súrlódáscsökkenés és kiváló kopásgátló hatás érhető el. Meghatároztuk, hogy mely kerámia nanoadalékok alkalmasak inkább súrlódás vagy inkább kopásgátló adalékok szerepére a jövőbeni olajfejlesztések során [13-15].



4. ábra Tribológiai vizsgálatot követő kopásnyom elemzés fókuszvariációs mikroszkóppal készült topográfiai felvétele [13-15]

Köszönetnyilvánítás (Köszönetnyilvánítás címsor)

A kutatáshoz a „Tématerületi Kiválósági Program 2021 (TKP2021) – Nemzeti kutatások alprogram – Digitális ipari technológiák kutatása a Széchenyi István Egyetemen (TKP2021- NKTA-48)” biztosított forrást.

3. Hivatkozások

- [1] D. Harangozó, I. Kozma, I. Czinege, S. Szalai: Analysis of inhomogeneous deformation occurring during post-necking phase of tensile test. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1246, 012018, 2022
- [2] D. Harangozó, I. Czinege: Effect of Roller Levelling on Tensile Properties of Aluminum Sheets. Materials 16(8) 3001, 2023.
- [3] I. Czinege, D. Harangozó: Application of artificial neural networks for characterization of formability properties of sheets. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture 7(1), 37-44, 2024.

- [4] D. Harangozó, I. Czinege: Mesterséges neurális hálók alkalmazása a jármű karosszéria anyagok tulajdonságainak jellemzésére. In: Szauter, Ferenc; Csikor, Dániel; Földesi, Rita; Suta, Alex (szerk.) „Digitális Járműipari Kutatások a Széchenyi István Egyetemen – Mesterséges Intelligencia a mobilitásban” Konferenciakiadvány 2022. június, Győr, Magyarország: Széchenyi István Egyetem 154-162, 2022.
- [5] T. Singh, A. Patnaik, L. Ranakoti, G. Dogossy, L. Lendvai: Thermal and Sliding Wear Properties of Wood Waste-Filled Poly(Lactic Acid) Biocomposites. *Polymers* 14, 2230, 2022.
- [6] T. Singh, P. Pattnaik, S. R. Kumar, G. Fekete, G. Dogossy, L. Lendvai: Optimization on physicomechanical and wear properties of wood waste filled poly(lactic acid) biocomposites using integrated entropy-simple additive weighting approach. *South African Journal of Chemical Engineering* 41, 193-202, 2022.
- [7] T. Singh, I. Fekete, S. K. Jakab, L. Lendvai: Selection of straw waste reinforced sustainable polymer composite using a multi-criteria decision-making approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2023.
- [8] L. Lendvai: Lignocellulosic agro-residue/poly(lactic acid) (PLA) biocomposites: Rapeseed straw as a sustainable filler. *Cleaner Materials* 9, 100196, 2023.
- [9] T. Singh, A. Aherwar, L. Ranakoti, P. Bhandari, V. Singh, L. Lendvai: Performance Optimization of Lignocellulosic Fiber-Reinforced Brake Friction Composite Materials Using an Integrated CRITIC-CODAS-Based Decision-Making Approach. *Sustainability* 15, 8880, 2023.
- [10] L. Lendvai, F. Ronkay, G. Wang, S. Zhang, S. Guo, V. Ahlawat, T. Singh: Development and characterization of composites produced from recycled polyethylene terephthalate and waste marble dust, *Polymer Composites* 43(6), 3951-3959, 2022.
- [11] L. Lendvai, T. Singh, F. Ronkay: Thermal, thermomechanical and structural properties of recycled polyethylene terephthalate (rPET)/waste marble dust composites. *Heliyon* 10(3) e25015, 2024.
- [12] Kutatási jelentés, Digitális ipari technológiák kutatása a Széchenyi István Egyetemen (TKP2021- NKTA-48) (2023)
- [13] Á.D. Tóth, N. Mike-Kaszás, G. Bartus, H. Hargitai, Á.I. Szabó: Surface Modification of Silica Nanoparticles with Ethyl Oleate for the Purpose of Stabilizing Nanolubricants Used for Tribological Tests. *Ceramics* 6, 980-993, 2023.
- [14] Á.I. Szabó, Á.D. Tóth, H. Abdallah, H. Hargitai: Experimental Wear Analysis of Nano-Sized Titania Particles as Additives in Automotive Lubricants. *Micro* 3(3), 715-727, 2023.
- [15] Á.I. Szabó, Á.D. Tóth, H. Hargitai: Examination of the tribological properties of aluminum oxide and cerium oxide nanoparticles surface-modified with ethyl oleate, in: Slobodan, Mitrovic (szerk.) *SERBIATRIB '23: Proceedings on Engineering Sciences: 18th International Conference on Tribology 17-19 May 2023, Kragujevac, Serbia, University of Kragujevac* 419-429, 2023.



Nevek, célok, változások

Names, objectives, changes

¹Béres Gábor József

¹*Neumann János Egyetem, GAMF Kar, Kecskemét, Magyarország, beres.gabor@nje.hu*

Összefoglalás

A cikk egy ünnepi, köszöntő előadás kivonata, amely az Óbudai Egyetem Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék megalapításának 60. évfordulójára készült, és ezáltal kevésbé hordozza magán a tudományos cikkek megszokott jegyeit, inkább általános kérdéseket, problémákat feszeget az író intézményén keresztül a felsőoktatás helyzetére vonatkozóan. Annyi tudományos jelleget sikerült azért a sorok közé csempészni, hogy az író itt is él egy feltételezéssel (hipotézissel), amellyel az emelkedett ünnepi hangulathoz méltó módon, az intézmények múltbéli nevein keresztül történik a téma felvezetése, kifejtése.

Kulcs szavak: intézményi névváltozások, hazai felsőoktatási trendek

Abstract

This paper is the abstract of a festive welcome speech held on the 60. Anniversary of the Materials Technology Institute Department at University of Óbuda. Thereby, the paper has less scientific content, rather, it addresses general problems and questions regarding the situation of the Hungarian higher education. For connecting to the celebration spirit of this event, the speech and the paper as well are based on a hypothesis, in relation to the institutional name changes from the past, in the author's university.

Keywords: institutional name changes, trends in the domestic higher education

1. Bevezetés (Nevek)

Nagy örömmel fogadtam amikor 2023. októberében Gonda Viktor tanszékvezető docens úr felkért, hogy előadóként vegyek részt a korábbi évekből számomra csak *Bánki Szimpózium*-ként ismert konferencián. A meghívás apropója az volt - bár akkor már régről ismertem Viktort a kettőnk között kialakult személyes, szakmai kapcsolat révén is, hogy ezen a rendezvényen kerül sor az Óbudai Egyetem, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék megalapításának 60. évfordulójának megünneplésére, amelyen minden, az anyagtechnológiákhoz valamilyen módon köthető hazai felsőoktatási intézmény képviseltette magát.

Ez, hogy a magyar felsőoktatásban egy vezető szerepet betöltő, fővárosi, nagymúltú intézmény nem feledkezett meg a vidéki főiskolából formálódó, jelenleg már ifjú egyetem kis, 'anyagos' tanszékéről, a személyes kapcsolatunk figyelembevételével is hatalmas megtiszteltetést ébresztett bennem, és egyben majdnem ugyanekkorra kihívással állított szembe. Ekkor ugyanis mindössze, valamivel több, mint fél éve voltam csak az egyetememen tanszékvezetői pozícióban, amelyet ráadásul a múltbéli események kényszerű alakulása (egészen pontosan a korábbi tanszékvezetőnk távozása) miatt ideiglenesen vállaltam el.

Fiatal pályakezdőként, még a Danyi József és Végvári Ferenc tanár urakkal több alkalommal is részt vettem ezeken az ESB konferenciákon. Szép emlékeket őrzök ezekről a rendezvényekről. A jelenlegi helyzetben azonban, egy GAMF-os tanszék (még hozzá a legnagyobb tanszék) karmesteri pálcájával a kezemben kellett visszatérnem, megpróbálni helyet találni az intézményemnek a szakma vezető oktatói, kutatói között, hogy az emelkedett hangulatnak megfelelően ünnepi, baráti módon köszöntsem az ünnepelt tanszéket, de oktatás- és tudománymenedzsmenti oldalról mégis komolynak tekinthető üzeneteket fogalmazzak meg a tisztelt megjelentek felé. Így jutottam el oda, hogy előadásomban az intézményem (az egyetem, a kar és a tanszék) névváltozásaival vonható párhuzamban mutattam be a személyes meglátásaimat (és bizonyos félélmeimet) a felsőoktatás működését tekintve, illetve a ránk háruló nehézségeket és az előttünk álló kihívásokat.

1. táblázat: Nevek és névváltozások a házigazda intézmény és a GAMF történetében

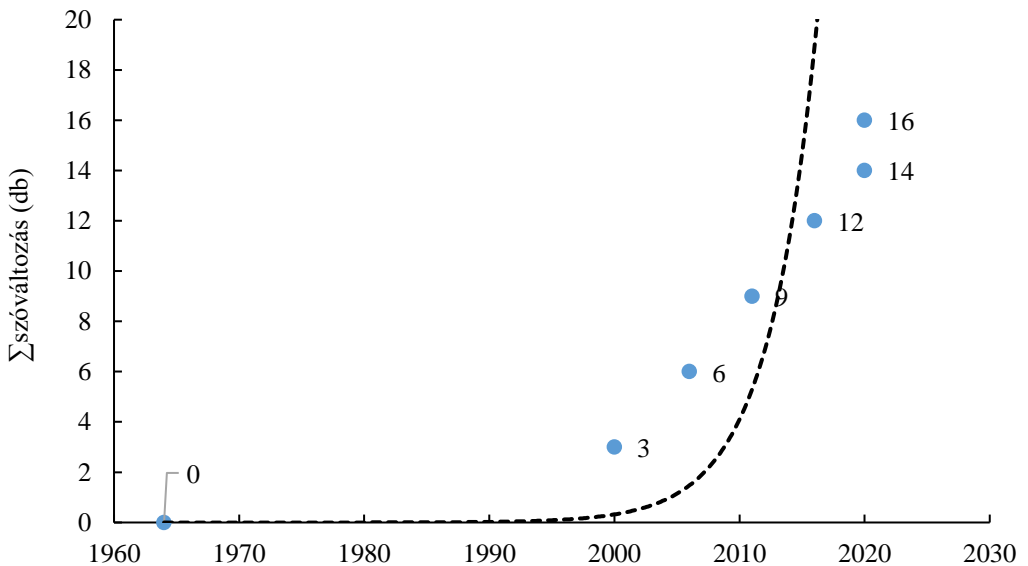
Évszám	Név	Δszó	Σszó- változás
1879	Budapesti Állami Közép-Ipartanoda		
1898	Magyar Királyi Állami Felső-ipariskola		
1964	Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola, Mechanikai Technológia Tanszék		
1969	Bánki Donát Főiskola		
1991	Bánki Donát Műszaki Főiskola		
2000	Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar, Mechanikai Technológia Tanszék	3	3
2000	Budapesti Műszaki Főiskola		
2006	Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar, Fém- és Műanyagfeldolgozó Intézet	3	6
2007	Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar		
2010	Óbudai Egyetem		
2011	Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar, Anyagtechnológia Tanszék	3	9
2016	Pallasz Athéné Egyetem, GAMF Kar, Anyagtechnológia Tanszék	3	12
2020	Neumann János Egyetem, GAMF Kar, Anyagtechnológia Tanszék	2	14
2020	Neumann János Egyetem, GAMF Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék	2	16

Az 1. Táblázatban szereplő intézményi névváltozásokat a házigazdaintézmény és a saját intézményen honlapjairól gyűjtöttem össze. Feltételezve, hogy a felsőoktatásban, az aktuális politikai helyzet által időről időre kicsikart változások kifejezhetők az intézményem névváltoztatási trendjével, az utóbbi időben sokat gyorsult, de mégis folyamatosan gyorsuló világgéppel összhangot mutató jelenséget tükröz le a felsőoktatásra nézve is az 1. ábra. Itt őszintén bocsánatot kérek a házigazda intézménytől, hogy a névváltozásokat csak a saját intézményemre fejeztem ki az 1. táblázatban és az 1. ábrán, de nem tartottam szerencsésnek ezt a szubjektív feltételezést egy tőlem független intézményre is rávetíteni.

2. Célok és változások

Itt fontos megjegyezni, hogy az 1. ábra megítélése kettős. Egyrésztől kiérthető az exponenciális jellegű emelkedésből egy gyors ütemű fejlődés, amely jellemzi a kecskeméti Innovatív Járművek és Anyagok Tanszékét (IJAT-ot). Ennek igazságalapját nem lehet elvitatni, ha rávilágítunk néhány mutatószámra a közelműltből. Például, a tanszéken 2021 január 01.-ét követően napjainkig hat oktató szerzett PhD fokozatot, míg ez 2018 január 01 és 2021 január 01 között mindössze egy fő volt. Ezzel összhangban nőttek a tanszék publikációs számai, de említésre méltó még, hogy 2021-ben megépült a BAY Zoltán Intézettel közösen birtokba vett Diódalézer Központ, vagy hogy a sok ígéretes fiatalal a tanszék létszáma hetven fő fölé duzzadt, amelyből 15-en jelenleg is folytatnak PhD tanulmányokat. Ezek nem titkolt módon az elődöm munkásságát dicsérik.

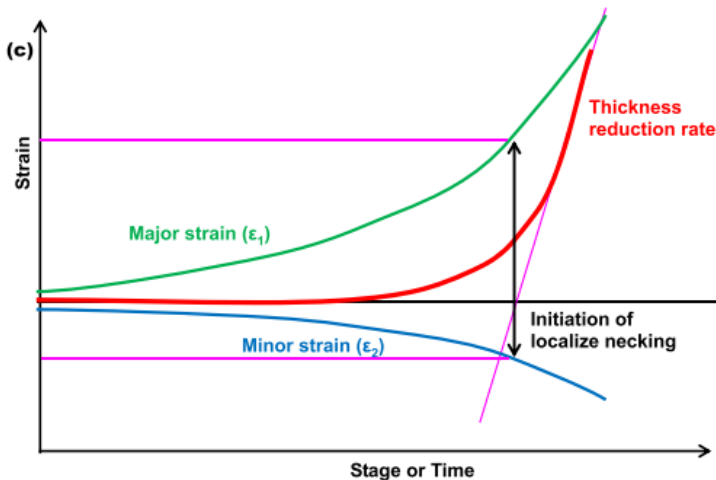
Egy másik olvasatban azonban, olyan trendet vetít előre ez a kis időközönként történő beavatkozások sora a felsőoktatásba, amely nem éppen a hosszú távon, stabilan fenntartható folyamatok jellegére utal. Hacsak a manapság talán „legfelkapottabb” aktualitásra, a modern technológiák által kínált mobilitásra gondolunk, olyan folyamatokban láthatunk hasonló változási trendeket, amelyekről már régen bebizonyosodott, hogy azok környezetvédelmi szempontból egészen biztosan nem fenntarthatók. Az MTA kiváló kutatói sokat foglalkoztak 2022-ben és 2023-ban is az éghajlatváltozás kérdésével, amely beszélgetések, előadások alapján kijelenthető, hogy például a legyártott gépjárművek darabszámát, vagy a légi közlekedésben résztvevők számát illetően ez a fajta növekedés csakis addig képes fennmaradni, amíg a mai tudásunk szerint véges természeti erőforrások ki nem merülnek, és az azok értékesítését célzó gazdasági érdekek át nem alakulnak. E két jelenségnek a lefolyását lentebb a 3. és 4. ábra szemlélteti.



1. ábra A GAMF és a valamikori 'MechTech' Tanszék névváltozásai

A képlékenyalakításban (és ez az, ami nekem igazából elsőre feltűnt a görbét látva, amit az 1. ábra kirajzolt), egy ugyancsak a fenntartható állapottal szemben menő jelenséget, a képlékeny tönkremenetelt közvetlenül megelőző kontrakciót jelöli egy ugyanilyen görbealak. Lemezek

esetében, ahol a tönkremenetelért leginkább húzó jellegű feszültségi állapot a felelős, a képlékeny alakváltozási folyamat időbeni előrehaladásával, a kontrakció megindulásának időpillanatában a vastagság irányú valódi főalakváltozás (piros görbe a 2. ábrán) gyorsulni kezd a 2. ábrán látható módon (így írva le az 1. ábrán mutatott függvényalakot) [1]. Ennek magyarázata abban rejlik, hogy a kontrakció csakis sicalakváltozási állapotban tud bekövetkezni, tehát egy bármely tetszőleges feszültségi állapotban deformálódó testben, közvetlenül a tönkremenetel előtt a főfeszültségek aránya a sicalakváltozási állapotnak megfelelő arányba kell, hogy kerüljön, okozva ezzel a kisebbik főalakváltozás leépülését, illetve egyidejűleg a nagyobbik főalakváltozással ekkor már egyedül egyensúlyt tartó vastagság irányú főalakváltozás 'katasztrófális' [2] felgyorsulását.

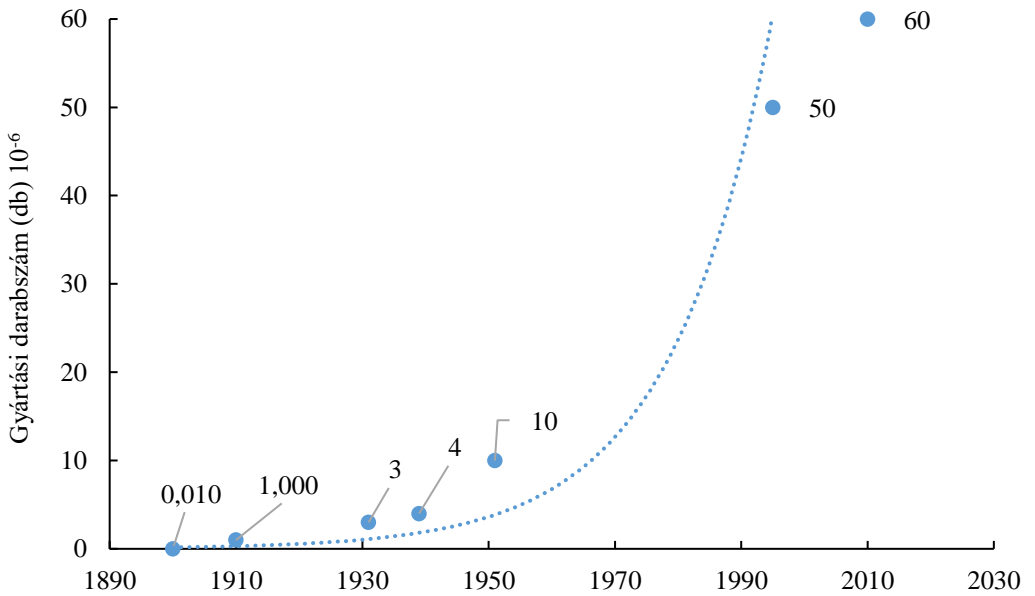


2. ábra A főalakváltozások változása az idő függvényében lemezek húzó jellegű deformációja során [3]

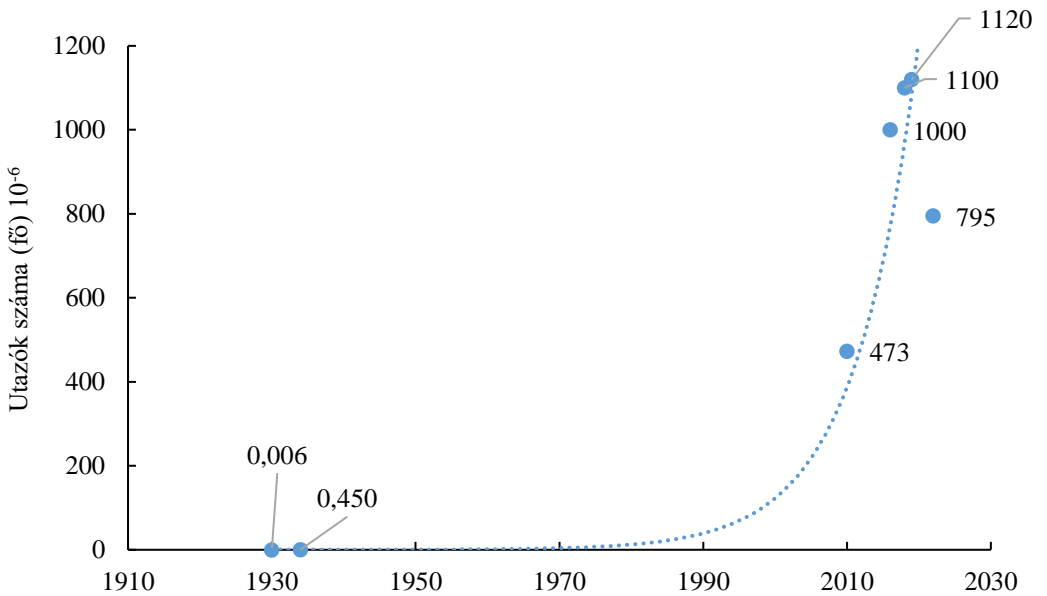
Kis szakmai kitérő után visszakanyarodva a GAMF Innovatív Járművek és Anyagok Tanszékét érintő problémákhoz, a sokszor nagyon rövid időközönként érkező és nem ritkán egymásnak ellentmondó feltételrendszerben* azt hiszem a legfontosabb cél jelenleg a felsőoktatási pályára frissen becsábított fiatalok itt tartása. Ehhez számukra megfogható, elérhető, de kihívásokat és fejlődési lehetőséget jelentő célokat kell megfogalmaznunk, a lehető legjobban elhatárolódva a politikai ráhatással érintett intézményi menedzsmenttől. Ennek kézzel fogható eszköze meglátásom szerint leginkább a tudományos kutatás, a tudományos élet téren kifejtett aktív tevékenykedés. Nekem és majd utódomnak (de a dékáni és rektori vezetésnek is) a tudomány minél magasabb fokú művelésének feltételeit kell számukra megteremtelnünk, hogy az intézménybe fektetett hitük visszaigazolást nyerjen, és majd a tudományos fokozatuk megszerzése után minőségi erősítést jelentsenek a tanszék számára. Amennyiben ez így meg tud történni, az magával hoz majd minden olyan eredményt, fejlődést, amelyeket most külön-külön megfogalmazni éppen ezért felesleges.

*Csak, hogy néhány aktuális példát említsek:

(i) intézkedés: *Bolognai rendszer bevezetése 2005. Célja, hogy a hallgatók széles körben hozzáférjenek a felsőoktatás kínálta lehetőségekhez (pl. mobilitáshoz).*



3. ábra Gyártott személyautók darabszáma világszerte (www.autoszektor.hu)



4. ábra Légi közlekedéssel utazók száma Európából induló vagy Európába érkező járatokon (www.turizmus.com)

(i) kontra intézkedés: *intézményi indikátor rendszer bevezetése 2022, amely intézményi forrásmegvonást ír elő, ha a hallgatók egy bizonyos százaléka nem teljesíti a 30 kredit / féléves előrehaladást. Íme két, egymásnak totálisan ellentmondó intézkedés.*

(ii) intézkedés: *„Az Nftv. 40. § (6) bekezdése szerint doktori képzésre az vehető fel, aki a mesterképzésben szerzett fokozattal, valamint a doktori iskola szabályzatában meghatározott idegen nyelvismerettel rendelkezik. A 2023. évi Nftv módosítása szerint a korábbiaktól eltérően a kivételes tehetségű jelentkezők alapképzésben szerzett fokozattal - párhuzamosan a mesterképzéssel - felvehetők doktori képzésre” (www.doktori.hu).*

(ii) kontra iránymutatás: *2023. november 07.-i hír, hogy „a kormány célja, hogy 2040-re Magyarország az innováció alapján a világ kétszáz országa közül benne legyen az első tízben.” (www.nkfi.gov.hu).* Nem hiszem, hogy bárki őszintén elhisi, hogy a doktori képzés lerövidítésével az innovációs eredmények javulni fognak. Avagy itt láthatunk, méghozzá ugyanabban a naptári évben két, egymásnak ellentmondó üzenetet. A sort természetesen még hosszan lehetne folytatni.

3. Konklúzió (a remélt változások)

Nem belemerülve a fenti gondolatmenetbe, tehát mintegy felhagyva a magyar felsőoktatás és a politikai helyzet interakcióinak boncolgatásával, azt az üzenetet próbáltam a konferencia közönsége számára megfogalmazni, hogy egy egyetem hosszú távú élteben maradásának és tovább fejlődésének kulcsa meglátásom szerint csakis a tudományos kutatás támogatásában rejlik. Rövid távon természetesen lehet, és kell is a mindenkori finanszírozási problémákon javító intézkedéseket bevezetni, de ezek nem tudnak hosszú távú megoldást jelenteni. Sajnos, a tudományos élet felpörgéséből eredő változások az intézményi reputáció növekedésében csak lassan, és anyagi szempontból elképzelhető, hogy sohasem térülnek meg. Más szóval, nem lehet bearázni egy kutatás, egy cikk értékét, már csak azért sem, mert annak jövőbeni hatása a kutatás elvégzésekor sohasem ismert. Például, egy Nobel-díjas kutatás sem egy-két év alatt éri el azt a színvonalat, hogy ezt az elismerést besöpörje, de ha meg ez tíz évek munkája, akkor az mennyibe került? Nem azt akarom mondani, hogy az IJAT-on esélyes, hogy ilyen kutatások lesznek a jövőben, de azt igen, hogy minél kedvezőbb feltételeket teremtünk a tudományos kutatáshoz, az intézmény annál magasabbra emelkedhet a társadalmi elismertség terén úgy, hogy a kutatások pénzübeli értékét szerintem soha, senki nem fogja tudni kiszámolni (viszont a bekerülési költségét már sajnos annál hamarabb). Ebben a tudatban kell tehát azt hiszem 2024-ben, Magyarországon egy intézményi vezetőnek tevékenykedni.

4. Hivatkozások

- [1] Hora, P., Tong, L., Berisha, B. (2013). Modified maximum force criterion, a model for the theoretical prediction of forming limit curves. *Int J Mater Form*, (6), 267-279.
- [2] Pearce, R. (1991). *Sheet Metal Forming*. The Adam Hilger Series on New Manufacturing Processes and Materials, IOP Publishing Ltd, 1-22.
- [3] Paul, S.K. (2021). Controlling factors of forming limit curves: A review. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, (2) 100033, 1-15.



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata

Mémnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2023)
<http://bgk.uni-obuda.hu/esb/>



Hatvan év emlékei az ATT és ATI között

Sixty years of memories between ATT and ATI

Kocsisné dr. Baán Mária, Dr. Török Imre, Dr. Lukács Zsolt

*Miskolci Egyetem Anyagszerkezetani és Anyagtechnológiai Intézet. Miskolc, Magyarország,
zsolt.lukacs@uni-miskolc.hu*

Összefoglalás

Ebben a publikációban az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti és Technológiai Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszékének és a Miskolci Egyetem Anyagszerkezetani és Anyagtechnológiai Intézetének csaknem hat évtizeden átívelő kapcsolatait foglaljuk össze. Az alapvető kapcsolódási pontok a hegesztés és hő- és felületkezelés területére fókuszáltak.

Kulcs szavak: EWE/IWE, hegesztés, hő- és felületkezelés, szakmérnöki képzés

Abstract

In this paper, we summarise the professional and collegial relationship between Institute of Mechanical Engineering and Technology of University of Obuda and Institute of Material Science of Technology of University of Miskolc spanning almost six decades. The main connecting points focused on topic of welding and heat treatment and surface engineering

Keywords: EWE/IWE, welding, surface engineering, welding specialist

1. Bevezetés

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti és Technológiai Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszéke (ATT) 2023. novemberében ünnepelte alapításának 60. évfordulóját. A szervezeti felépítésében elfoglalt helye az évtizedek során sokat változott, de a helyszíne és annak atmoszférája, az Intézetben/Tanszéken/Szakcsoportban a mindenkori oktató, kutató és őket támogató dolgozói kollektíva gépészmérnök oktatás területén képviselt elhivatottsága remélhetőleg még sok évtizeden keresztül az állandóságot fogja képviselni.

Bár tagadhatatlan, hogy a Népszínház utca 8. épülete egy impozáns épület, de fő értékét az ódon falaknak mégis csak az e falak között tevékenykedő mindenkori munkatársak egymást emberi, szakmai téren támogató közössége tölti meg értékkel. Az ATT egy kiemelkedően értékes helye az épületnek. Az örökölt múlt, szerencséje, hogy mindig megtalálta a sors azokat a vezetőket, akik jól megválasztott csapattal kiegészülve mindig egy lappal tovább írták az ATT történetét. És a történet folytatódik ...

Nekem, mint a Miskolci Egyetem Anyagszerkezeti és Anyagtechnológiai Intézet jelenlegi vezetőjének van szerencsém felidézni, kollégáimmal közösen milyen kapcsolódási pontok jellemzik a két Intézet/Tanszék immár 6 évtizedes kapcsolatát. A szakmai kapcsolatokon túl a kollégáimmal folytatott beszélgetések, emlékezések során sokszor éreztem, hogy nem csak a gépészmérnök

oktatás köti össze a két Intézetet, hanem rengeteg baráti kötelék is. Én csak reményemet tudom kifejezni az iránt, hogy az egymás kölcsönös tisztelete, szakmai sikereinek öröme, közös projektek, még számos évtizeden keresztül építik ezt a kapcsolatot. A 2023. november 16-án tartott ATT60 jubileumi szekció előadásai és az azt követő baráti beszélgetések után ebben teljesen biztosak vagyunk.

2. Együttműködés a hegesztés területén

Intézetünk és az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Anyagtechnológiai Intézeti Tanszéke és jogelődei kapcsolata több mint 50 évre tekint vissza. E kapcsolat a hegesztés területén a hegesztő műszaki szakember képzés indításával kezdődött a 70-es évek elején és mind a mai napig tart. A képzés létrejöttét az indokolta, hogy a hatvanas években nagy igény jelentkezett az ipar részéről a hegesztő szakemberek iránt, amelyet a 60-as évek elején beindult hegesztő szakmérnök-képzés (NME 1961) nem tudott kielégíteni. Ezen igény kielégítésére kapcsolódott a „Bánkin” elindult hegesztő műszaki szakember képzés 1972-ben. Ez termékeny talajon jött létre, hiszen a jogelőd Felsőfokú Gépipari Technikum alapítása előtt is komoly hegesztési oktatás folyt az intézményben.

Időközben a BME-n is beindult a hegesztő szakmérnök-képzés oktatása és ezen három intézmény országosan is jelentős szerepet töltött és tölt be a hegesztés tudományterületének művelésében és oktatásában. Mindhárom intézmény külön-külön és együttműködve is folyamatosan korszerűsítette és a nemzetközi képzésekhez igazította, harmonizálta oktatását. A kezdeti időszakban az együttműködést Dr. Artinger István, Dr. Márton Tibor és dr. Romvári Pál nevei fémjelezték.

1974-ben létrejött az Európai Hegesztési Szövetség (EWF), fő feladatának tekintette a hegesztő szakemberek egységes képzési-, vizsgáztatási- és működési rendszerének kidolgozását, amely egyenértékűvé teheti a tagországokban a hegesztés területén szerezhető diplomákat. Mivel Magyarország ekkor még csak megfigyelő státusszal rendelkezett az EWF-ben, elindult egy teljes jogú tagság megszerzését megcélzó folyamat. Az 1990-ben alapított Magyar Hegesztéstechnikai és Anygvizsgálati Egyesülés (MHtE) soraiba belépve az BME-BDGMF-NME szakirányú intézeti hathatós szakmai segítséget nyújtott ahhoz, hogy az MHtE elláthassa Magyarország képviseletét az EWF-ben. Ez megteremtette annak a lehetőségét, hogy ezen oktatási intézmények végezhetek EWF rendszerű képzéseket. Ehhez a támogatáshoz újabb szakmai szereplőkkel bővült az együttműködésünk: Dr. Kovács Mihály, Dr. Bagyinszki Gyula, Dr. Palotás Béla, Dr. Komócsin Mihály személyében.

A felvételt követően kidolgozásra került a Nemzeti Bizottság szervezeti felépítése, működési rendje. Megalakult a Nemzeti akkreditáló Bizottság, amely jóváhagyta a vizsgáztató és auditáló csoport személyi összetételét, megteremtve ezzel az oktatóhelyek akkreditációját, jóváhagyva a képzések tárgyi, személyi és szervezeti feltételeit. Ezzel megteremtődött annak a lehetősége, hogy az oktatóhelyek EWF rendszerű képzéseket folytassanak és ennek eredményes elvégzése esetén európai érvényű diplomát adjanak ki. Időközben az IIW (Nemzetközi Hegesztési Intézet) is elfogadta az EWF képzési és képesítési követelményeit, miáltal 2011-től IWE (International Welding Engineer) oklevél kiadása is lehetővé vált (1. ábra).



1. ábra Az első nemzetközi IWE hegesztőmérnökök az Óbudai Egyetemen (2012)

Az elmúlt 30 évben Magyarországon a Magyar Meghatalmazott Nemzeti Testület által EWF/IIW oktatás lebonyolítására 10 oktatói bázis kapott különböző kurzusokon akkreditációt.

Napjainkban a három intézmény a felsorolt képzések tekintetében rendelkezik akkreditációval.

1. táblázat Jelenleg akkreditált képzések

BME Anyagtudomány és Technológiai Tanszék	
	• Nemzetközi hegesztőmérnök (IWE)
OE BGK Anyagtechnológiai Intézeti Tanszéke	
	• Nemzetközi hegesztőmérnök (IWE)
	• Nemzetközi hegesztőtechnológus (IWT)
	• Nemzetközi hegesztőspecialista (IWS)
ME Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet	
	• Nemzetközi hegesztőmérnök (IWE)
	• Európai ellenállás-hegesztő specialista (EWS-RW)
	• Európai kiemelt ellenállás-hegesztő (EWP-RW)

A képzőhelyek között napjainkban is szoros szakmai és egymást segítő, támogató kapcsolat van. Ehhez a szakmai körhöz újabb fiatal generáció nőtt fel, akik aktív szerepet vállalnak a tapasztaltabb kollégákkal közösen a magyarországi hegesztő társadalomban (Dr. Májlinger Kornél, Dr. Palotás Béla, Dr. Bagyinszki Gyula, Dr. Gáti József, Dr. Török Imre, Dr. Gáspár Marcell, Dr. Meilinger Ákos).

Az összetartó szakmai közösség abban ismerszik meg, hogy ha a művelt szakmai területet érintő szakkönyv jelenik meg, azt egyik intézmény sem sajtóztatja ki magának. Ennek talán egyik jó példája a Hegesztési Zsebkönyv, aminek, ha az első 1996-os kiadásának szerzőit vagy a második átdolgozott kiadás szerzőgárdáját elolvassuk, az intézményi falakon átívelő kapcsolódási pontokat találhatunk. Nem történt ez másként a harmadik, immáron kétkötetes kiadás munkálatai során sem. A két kötet szerzői között szépszámmal megtalálhatók a BME, Bánki és a Miskolci Egyetem oktatató-kutatói és ipari szakemberek nevei is.



2. ábra Az ellenállás-hegesztő tanfolyam csoportképe a záróvizsgán. A kép oldalán a vizgabizottság elnöke Farkas László Bánkin végzett mérnök

3. Együttműködés a Hő- és Felületkezelés területén

E szakterületen intézményeink és szakembereink együttműködésének meglepő módon a 90-es években megnyíló és folyamatosan bővülő nemzetközi együttműködési keretek adtak lendületet. Elsőként az ASM International szakmai világszervezet magyarországi csoportjainak - a budapesti központú ASM Hungary és az ASM Miskolc Student Chapter – 1991 őszi megalakulását [1] kell említenünk. A hallgatói csoport 1993-ban lehetőséget kapott arra, hogy szervezői feladatok ellátásáért cserében közel tucatnyian ingyenesen részt vehettünk a Dortmundban megrendezett 2nd European ASM Heat Treatment and Surface Engineering Konferencián. A rendezvény során számos neves szakemberrel ismerkedhettünk meg, így Dr. Réti Tamás közvetítésének köszönhetően első alkalommal találkozhattunk a tudományterület kiemelt jelentőségű szaktekintélyével, Prof. Tom Bell professzorral.



3. ábra Az első találkozás Prof. Tom Bell-el, aki nemzetközi együttműködéseink kulcs-szereplőjévé vált, (2nd European ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference, 1993)

Szerencsés módon Bell professzor az ASM European Lecturer program keretében, és a világszervezet finanszírozásával pár hónappal később el is látogatott Miskolcra. Ez a találkozás lehetőséget adott arra, hogy a tervezés alatt álló TEMPUS projektünk partnerei közé invitáljuk a

Birmingham-i Egyetem általa vezetett intézetét. Az *“Establishment of new courses on Materials Engineering in Hungary”* (S-JEP 08066-94) c. projekt támogatást nyert, a Miskolci Egyetem koordinálásával, öt magyar intézmény - köztük a Bánki Donát Műszaki Főiskola – és négy külföldi egyetem együttműködésére épült. Három éven keresztül számos tanulmányutat, diákcsera-programot, eszközbeszerzést, infrastruktúra fejlesztést valósíthattunk meg három témakörben – ezek egyike a Hő- és felületkezelés témaköreire fókuszált. Az alprojekt koordinációs feladatait Kocsisné dr. Baán Mária (ME) látta el, a szakmai munka hazai irányítására Dr. Réti Tamást kértük fel, de sok szakmai segítséget kaptunk – akkor még informális módon – a marosvásárhelyi Dr. Kolozsváry Zoltán professzortól is. A projekt legfontosabb eredményének a számos angol nyelvű tananyagfejezet és demonstrációs anyag elkészültét tekinthetjük.

Időközben az ASM Miskolci Hallgató Csoportja keretében is tovább folyt az együttműködés intézményeink között, hazai diákkonferenciákat szerveztünk, s a legszínvonalasabbnak ítélt prezentációk szerzői részt vehettek a csoportunk által szervezett utazásokon a Lausanne-i Junior Euromat konferencia-sorozat kétévenként megszervezett rendezvényeire. Így 1994 augusztusában Dr. Réti Tamás professzor nemcsak tanár-kísérőként csatlakozott a miskolciak népes csapatához, hanem két tehetséges diákja – Felde Imre és Süttő János - is velünk tartott.



4. ábra Az ASM Miskolc Student Chapter által szervezett, népes magyarországi diákcsoport a Junior Euromat Diákkonferencián – a Bánki Donát Főiskolát Dr. Réti Tamás és két diákja: Felde Imre és Süttő János képviselte (Lausanne, 1994)

A TEMPUS projekt lezárását követően a további együttműködésre ismét egy EU támogatású projekt kínált lehetőséget. Az **Innov@te - International On-Line Voc@tional Training in Surface Engineering** (UK/01/B/P/PP-126_462) Leonardo projekt kontraktora a londoni székhelyű Institute of Materials (későbbi névváltozás óta IOM3), míg koordinátora a Miskolci Egyetem volt. A projekt 2001-2004 között arra vállalkozott, hogy rugalmas, moduláris rendszerű képzési programok részeként alkalmazható, döntően digitális tananyagelemeket dolgozzon ki, melyek különféle célcsoportok és egyének igényeihez szabható képzési programokba építhetők be. A tananyagelemek egy részét több nyelven (HU, RO, D) is elérhetővé tettük, mégpedig három különböző e-learning platformon, illetve platform-független multimédiás tananyag-elemekként [2]. A korábbi TEMPUS projektben kidolgozott tananyagfejezetek digitalizációja mellett – melyek a képzés törzsanyagát, gerincét képezték – nagy hangsúlyt fektettünk video-előadások és multimédiás esettanulmányok kidolgozására is, többnyelvű fogalomtárral, tudásellenőrző tesztekkel kiegészítve. A szakmai együttműködést a szakterület világszervezete, az IFHTSE (International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering) koordinálta, kulcsfontosságú szerepben Prof. Tom Bell és Kolozsváry Zoltán professzorokkal, és bár a konzorciumnak a Bánki Donát Főiskola nem volt formálisan a tagja, továbbra is számítottunk Prof. Réti Tamás közreműködésére. Szakértői csapatunk

tovább bővült a digitális tananyagfejlesztés speciális kompetenciáival is rendelkező fiatal kollégákkal, így Felde Imre és a miskolci PhD hallgató, Rowshan Reza is számos esettanulmány fejlesztésében játszott fontos szerepet. Az Innovate eredményeire épülve egy további, magyar finanszírozású projekt támogatásával kétnyelvű, FAT akkreditált, online felnőttképzési programot dolgoztunk ki, 2007-ben.

A nemzetközi együttműködés folytatására egy újabb EU-finanszírozású projekt nyújtott lehetőséget, ezúttal a Máltai Egyetem koordinálásával. A MinSE, azaz **European Master's in Heat Treatment and Surface Engineering** (Socrates 74922-IC-1-2005-1-MT-ERASMUS-PROGUC-6) projekt 2006-2009 között azt a célt tűzte ki maga elé, hogy öt egyetem és öt iparvállalat, továbbá az IFHTSE részvételével egy teljes MSc képzési programot hoz létre, melyet az IOM3 akkreditál, s melyben az e-learning és jelenléti oktatás módszerei rugalmasan váltakozva, illetve egymást kiegészítve alkalmazhatók [3]. Közösségünket súlyos veszteség érte Tom Bell professzor 2008 évi halálával [4]. Az elkészült tananyagok a kialakult világválság miatt visszaesett képzési igény és így az érdeklődés, a kereslet hiánya miatt csak részlegesen, intézményi szinteken kerülhettek alkalmazásra.

Intézményeink együttműködésének folytatására a Hő- és felületkezelés terén egy újabb, jelentős volumenű, ezúttal hazai finanszírozású TÁMOP projekt nyújtott újabb lehetőséget. A **Járműipari anyagfejlesztések: Célzott alapkutatás az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség témaköreiben** (TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029) – rövid nevén **AUTOTECH** – projekt Prof. Dr. Tisza Miklós szakmai irányítása mellett valósult meg 2012-2015 között.



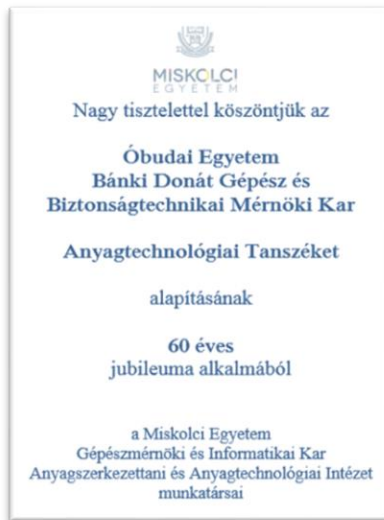
5. ábra Az AUTOTECH projekt keretében elért közös eredmények két példája: tanulmánykötet [6] és közös prezentáció az ASM International 100. évfordulóján, Montreálban megrendezett Materials Science & Technology 2013 konferencián

Ennek egyik tudományos műhelye *Nemzetközi fejlesztési trendekkel összehangolt, célzott alapkutatások a hő- és felületkezelési technológiák hatékonyságának növelésére* címmel fogalmazta meg célkitűzéseit [5]. A projekt koordinátora, és egyben a Hő- és Felületkezelési Tudományos Műhely szakmai irányítója, Kocsisné dr. Baán Mária a korábbi nemzetközi projektekben kialakult hatékony munka-kapcsolat alapján Dr. Felde Imrét kérte fel az egyik K+F téma irányítására, melynek célja egy hosszútávú együttműködés alapjainak megteremtése volt. A *Járműiparban használatos hűtőközegek hűtési teljesítményének meghatározását és a hűtési eljárás optimalizálását megalapozó mérési és számítógépes szimulációs módszer fejlesztése* c. kutatási program támogatásával megteremthettük a Miskolci Egyetemen az edzőközeg-vizsgálat kísérleti feltételeit a SmartQuench edzőközeg vizsgáló berendezés, továbbá egy csökemence és edzőkád beszerzésével, tanulmányok és oktatási segédletek mellett számos hazai és nemzetközi konferencián való

részvételre, közös publikációk megjelentetésére nyílt lehetőségünk. A Miskolci Egyetemen egy PhD hallgató, Kerekes Gábor ebben a témakörben kezdte meg kutatásait, és az Óbudai Egyetem részéről is bevontunk egy fiatal kollégát, Mucci Andrászt a program megvalósításába.

4. Záró gondolatok

Lezárásként, mit is írhatnánk a két Intézet kapcsolatáról? Elsőként talán azt, hogy Isten éltesen születésnapodon kedves ATT. Kívánjuk, hogy maradjon meg köztetek a rátok annyira jellemző baráti hangulat, hiszen pozitívan hozzáállva a kihívásokhoz, csapatban gondolkodva és a feladatokat elosztva sokkal könnyebben legyőzhetőek az akadályok. Akadályok pedig voltak, vannak és lesznek. Azt is tiszta szívből kívánjuk, hogy a hat évtizeden keresztül fenntartott baráti viszony még minimum hat évtizedig maradjon fenn közöttünk. Ahogy a tiétek, úgy a mi ajtónk is nyitva lesz, ha hozzánk látogattok. Baráti nagybecsülésünk jeleként áljon itt utolsó képként az ünnepi rendezvényen átadott emléklapunk az ATI teljes kollektívájának jókívánságával.



6. ábra A Miskolci Egyetem testvér intézetének (ATI) jókívánságai az ünnepségen átadott emléklapon.

5. Hivatkozások

- [1] Kocsisné B. M. (2015). Képes krónika az ASM Hungary megalakulásáról és főbb eredményeiről, Kónya I. (szerk.) Országos Anyagtudományi Konferenciasorozat 1997-2015 Jubileumi Kiadvány, Magyar Anyagtudományi Egyesület, pp.95-100.
- [2] Kocsisné B. M. (2007). Multilingual e-learning programmes for engineering education, Proc. SEFI-IGIP Int. Conference. Miskolc, 2007. július 1-4 Conf. Proc., pp.47-48 ISBN 978-963-661-772-1
- [3] Kolozsvary, Z., Kocsisné B. M. (2012). Added values of international collaboration in modernisation of Heat Treatment and Surface Engineering education, 4th International Materials Education Symposium, Cambridge, UK, 12-13 April.

- [4] Kocsisné B. M. (2010). International projects in Surface Engineering in collaboration with Professor Tom Bell, Surface Engineering 2010 vol.26 No 1-2. pp.12-14
- [5] Kocsisné B. M., Marosné B. M., Kuzsella L., Felde I. (2014). Járműipari anyagfejlesztések a hő- és felületkezelés terén, XXVI. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás, 2014.10.06-08. Balatonfüred, Proc. pp. 31-36.
- [6] Felde I. – Kerekes G. – Mucsi A. (2015). Edzőközegek korszerű vizsgálati módszerei, Miskolci Egyetem (2015) , 94 p. ISBN: 9789633580837.



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata

Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2023)
<http://bgk.uni-obuda.hu/esb/>



Dunaújvárosi Egyetem anyagtudományi kutatásai és közös projektek kialakítása az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karral

Materials science research tasks at the University of Dunaujvaros and development of cooperated projects with Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering at Óbuda University

¹Pázmán Judit

¹*Dunaújvárosi Egyetem, Dunaújváros, Magyarország, pazman@uniduna.hu*

Összefoglalás

Az előadás tartalmát tekintve rövid összefoglalást adtam a Dunaújvárosi Egyetemen az elmúlt 10 évben lezajlott és még futó projektek tématerületeiről, úgy mint az alumínium-ötvözetek fejlesztéséről az autóipar számára, moduláris műanyag tárolórendszer kialakításáról, elektromos töltő robotkar fejlesztéséről, és az Egyetemen létrejött Paksi Kompetencia és Kutató Központtól (DUE-PKK). Az előadás második felében az ÓE Bánki Donát Gépészeti és Biztonságtechnikai Karral közös együttműködési lehetőségeket ismertettem, melynek célja a két intézmény már kialakított jó kooperációjának megerősítése és fejlesztése.

Kulcs szavak: anyagtudomány, DUE-PKK, közös projektek

Abstract

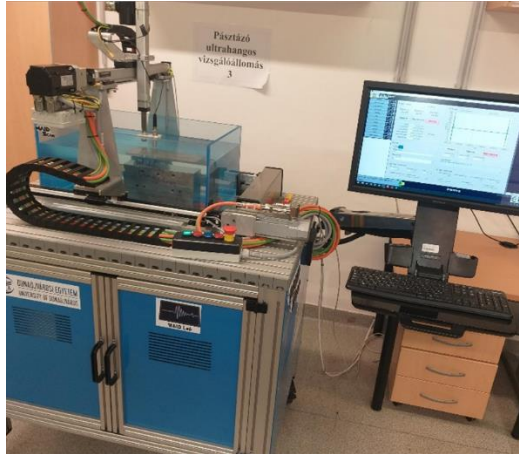
In terms of the content of the presentation, a brief summary of the topics of the projects completed and still running at the University of Dunaújváros in the past 10 years was summarized in the first half of the presentation, such as the development of aluminum alloys for the automotive industry, or the development of a modular plastic storage system, and the development of an electric charging robot arm, finally the Paks Competence and Research Center established at the University (DUE-PKK). In the second half of the presentation, the joint cooperation opportunities with the ÓE Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering was introduced, the aim of which is to strengthen and develop the good cooperation already established between the two higher educational institutions.

Keywords: materials science, DUE-PKK, joint projects

1. Anyagtudományi kutatások a Dunaújvárosi Egyetemen

Az 1951-ben alapított és 1953-ban elindított iskolarendszerű Kohóipari Technikumban meglévő és a következő évtizedekre átörökített tudásból a 2000-es évekre kiforrott anyagtudományi és anyagvizsgálati kutatásokat folytatott a Dunaújvárosi Főiskola és azt követően az Alkalmazott Tudományok Egyetemként a Dunaújvárosi Egyetem. A kohászathoz kötődő múlt egy stabil fémteni

és fémötvezetek fejlesztésén alapuló ismeretanyag felhalmozódását és továbbfejlesztését vetítette elő. Ebben a témakörben az elmúlt 10 évben főként a nagy teljesítőképességű acélok és az autópár számára egyre inkább kulcsfontosságúvá vált alumínium ötvözetek gyártástechnológiájának és végállapothoz tartozó anyagjellemzők maximalizálása került a fókuszpontba. Az anyag és gyártástechnológiai fejlesztések mellett egyre nagyobb hangsúlyt kapott a roncsolásmentes anyagvizsgálat is. Ehhez kapcsolódóan az Egyetem két sikeres Tématerületi Kiválósági Programot vitt végig, melynek köszönhetően a Magyar Akusztikai és Ipari Diagnosztikai (MAID) Laborban dolgozó kutatók létrehozták az ipar számára, főként a tömbi anyagokban lévő anyagfolytonossági hibák feltárására szolgáló pásztázó ultrahangos berendezést (1. ábra).



1. ábra Pásztázó ultrahangos berendezés

1.1 Alumínium ötvözetek fejlesztése az autópár számára

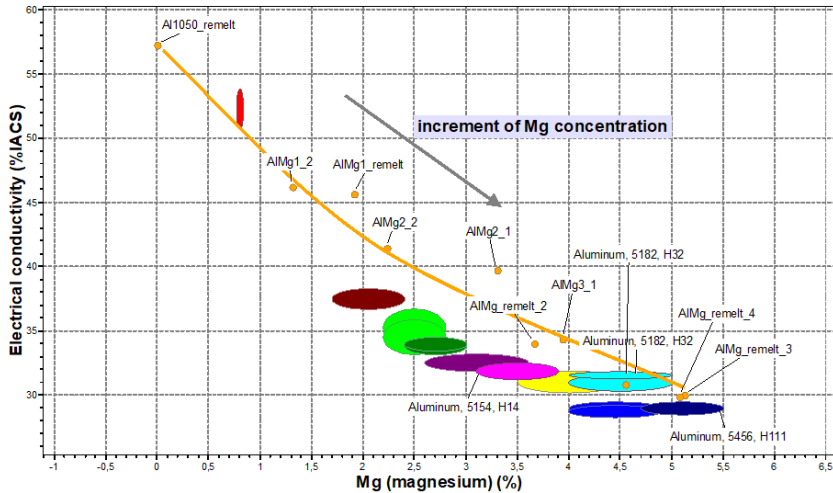
Az anyagfejlesztések terén a 2016-2020 között megvalósított projekt a korábban főként acélok területén folytatott kísérletekhez új fémötvezeteket hozott, az új, piacképes hengerelt alumínium termékek technológiájának fejlesztését, mely új ismeretanyag és felhalmozható tudást jelentett a Dunaújvárosi Egyetem számára. Az innovatív alumínium termékekkel kapcsolatos fejlesztésben az akkori Arconic-Köfém Kft., a Miskolci Egyetem, a Széchenyi István Egyetem és a Dunaújvárosi Egyetem alkotott konzorciumot. Az együttműködő partnerek az autópár, a gépipar és más felhasználói piacok számára fejlesztettek korszerű hengerelt Al8xxx, Al5xxx, és Al3xxx anyagminőségű alumíniumtermékeket és hozzá tartozó hengerlési technológiákat. A projekthez a Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Programban meghirdetett GINOP-2.2.1 „K+F versenyképességi és kiválósági együttműködések” című felhívás keretében nyert támogatást a konzorcium. A konzorciumi tagok a kutatási részfeladatokban feltérképezték az eddig gyártott termékek megfelelőségét az ipari igények szempontjából. A homogenizálási paraméter, valamint a hengerlési technológiai adatok alapján optimalizálták az alumínium ötvözet termékek mechanikai jellemzőit a megnövekedett ipari igényekhez mérten. A projekt eredményeként egy minősítő rendszer is kidolgozásra került, mely ötvözi a mechanikai jellemzőket, a korrózióállósági mutatókat, és ezek alapján kerül kiválasztásra a megfelelő gyártástechnológia az adott termékre.

Ezzel párhuzamosan folyt a Dunaújvárosi Egyetemen az Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában elnevezésű projekt, melynek keretén belül egy ívsugaras átolvasztó berendezés (2. ábra) megvételére került sor, és így egyedi ötvözetek fejlesztését valósította meg az Egyetem réz és alumínium alapú ötvözetek esetén.



2. ábra Arc Melter 500 ívsugaras átolvasztó berendezés

Ennek célja az elektromotorokban elhasznált anyagok fejlesztési lehetőségeinek feltárása, a motorok elektromos hatásfokának javítása, tömegének csökkentése. Ugyanis a motorok hatásfokjavításának egyik módszere a motor fordulatszámának megemlése, ez azonban új anyagok alkalmazását teszi szükségessé, mivel a motor forgórésze a megemelt fordulatszám során fellépő centrifugális erő hatására olyan fokozott mechanikai terhelést kap, amelyet a jelenleg alkalmazott kalicka anyagok, mint alumínium és nagy tisztaságú réz (Cu-ETP), alakváltozás nélkül már nem viselnek el. A kutatási részfeladatok megvalósításakor Al-Mg (3. ábra), és réz mátrixú nanokompozitok legyártását és vizsgálatát végezte el az Egyetem a konzorciumi partnerekkel együtt. A kiértékelést a CES EDUPACK szoftverrel oldottuk meg, mely lehetővé tette, hogy az adatbázis ötvözeiteinek jellemzőivel a saját gyártott minták anyagjellemzőit is össze tudjuk hasonlítani, így valós anyagkiválasztási feladatok elvégzésére is képessé vált az anyagtudományi kutatócsoport.



3. ábra Al-Mg ötvözetek kémiai összetételének hatása az elektromos vezetőképességre

1.2 Fröccöntött műanyag tárolórendszer fejlesztése

A fémek és fémötvözetek mellett a műanyagok-polimerek anyagszerkezeti változásainak megismerésével is foglalkozni kezdett a Dunaújvárosi Egyetem. Szakmai támogatást kapunk a kecskeméti Neumann János Egyetem polimerfeldolgozó csoport tagjaitól. A jelenleg is futó projekt keretein belül különböző moduláris tároló rendszerhez műanyagokat tesztelünk, melyek szélsőséges környezeti körülmények között is olyan kémiai ellenállóképességet, mechanikai stabilitást kell hogy mutassanak, hogy a forgácsolt alkatrészek, (motorblokk, hengerfej, tengelyek) éles sarkai és élei ne tudják leforgácsolni a tároló tálca felületét és ezek a forgács darabok ne tudjanak bekerülni a szerelt egységekbe, és ott hibákat okozni. A fejlesztés során fontos továbbá, hogy a raszteres rendszer könnyen átalakítható legyen más-más formájú, méretű alkatrész tárolására. Ami jelenleg a legjobb alapanyag a piacon az egy 0,1-0,2 mm vastag TPU bevonattal rendelkező ABS, mely már 20-30%-al javított a forgácsképződés megszüntetésén, de a tapasztalatok szerint egy ennél vastagabb és stabilabb bevonatú, vagy más alapanyagú tároló megoldásra lenne szükség.

1.3 Elektromos töltő robot fejlesztése

Az anyagtudományi fejlesztések mellett a műszaki területen kiemelt projekt még az elektromos gépjárművek automatikus töltését megvalósító töltő robot kifejlesztése. A kutatást és fejlesztést a Ganz Kapcsoló- és Készülékgyártó Kft. (konzorciumvezető) -vel együtt végzi a Dunaújvárosi Egyetem. A projekt célja egy vezetékes robotkaros elektromos autótöltőállomás, több beállásos parkolóhely számára, mely egyetlen robotkarral és egyetlen töltőoszloppal biztosítani képes az elektromos autók töltését. A robotkaros töltés és a hozzá kapcsolódó informatikai rendszer biztosítja, hogy a jármű vezetőjének ne kelljen várakoznia az üres töltőállomásra, valamint a jármű vezetőjét a rendszer értesíti, ha a jármű akkumulátorai a megadott szintre feltöltődtek. Az elektronikai rendszer a töltőállomás foglaltságáról, a töltés elkezdéséhez még hátralévő időről is tájékoztatja a rendszerbe belépő sofőröket. A töltőállomás közvetlen humán kezelő nélküli, ezért a rendszer figyelni az autók parkolási formációit is. A helytelen parkolásról közvetlenül a helyszínen elhelyezett hangszórókkal tájékoztatja a vezetőt, illetve a vezetők által használt mobil applikáción keresztül. A töltést csak akkor kezdi meg, ha a biztonsági előírásoknak megfelel a parkoló autó és az utasok sem tartózkodnak a töltési térben. Robotkaros elektromos autótöltő rendszert szabadtéren vagy fedett parkolóban egyaránt használhatóra tervezzük.

1.4 Dunaújvárosi Egyetem Paksi Kompetencia és Kutatóközpont (DUE PKK) létrehozása

A korábbi anyagtudományi projektek szolgáltatták az alapot arra, hogy a Paksi Atomerőmű kapacitás bővítése (Paks II. beruházás) támogatása érdekében a Dunaújvárosi Egyetem Paksi Kompetencia és Kutatóközpontjának (a továbbiakban: DUE-PKK) létrehozására kerüljön sor 2020-2022 között. A DUE-PKK profilja a gépésztechnológia atomerőmű létesítés specifikus ismeretei, azaz az atomerőműben alkalmazott fémes szerkezeti anyagok, az anyagtechnológiák (metallurgia, képlékeny alakítás, hőkezelés), szereléstehnológiák, különös tekintettel a hegesztés technológiákra, anyagvizsgálat (minőség-ellenőrzés típusú és üzemeltetésre való alkalmasságot igazoló roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok), gépipari minőségbiztosítás.

Ennek értelmében a DUE-PKK két fő egységet foglal magában, az Anyagvizsgáló Szolgáltató Központot (ASZK), melybe beletartozik a Hegesztő Képző és Kutató Bázis (HKKB), míg a másik fő egység az Atomerőműi Képzési Bázis (AKB). Az ASZK célja a hegesztett kötések, alapanyagok roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálata, továbbá a Paks II beruházáshoz kapcsolódó specifikus hegesztő képzések erősítése (HKKB). Az egyes egységek szinergiája lehetővé teszi az anyagfejlesztések, a termékfejlesztések, valamint a hegesztett szerkezetek és az anyagkárosodási folyamatok teljeskörű vizsgálatát és szakértői elemzését. Az ipari igények kielégítése és új ipari partnerek bevonása az elkövetkezendő évek feladata. Ennek megvalósításában a Dunaújvárosi Egyetemen megvalósított Ökoszisztéma projekt is nagy segítséget nyújtott, hiszen az ipari partnerek igényeit mérte fel, és az egyetem kapcsolati hálójának kibővítését tette lehetővé. Így új kutatási projektötleteket és eseti anyagtudományi, valamint gépészeti megoldandó feladatokat generált. A kutatás-fejlesztési területeket szem előtt tartva az új laborpark olyan atomerőműi projektek lefolytatására válik alkalmassá, mint az új atomerőműi blokkok öregedéskezelési programjához szükséges nulladik állapot felvételét alapanyag és hegesztett kötések tekintetében egyaránt, továbbá roncsolásmentes anyagvizsgáló rendszerek fejlesztése és ipari környezetbe illesztése.

Dunaújvárosi Egyetemnek a laborpark megteremtése mellett célja még, a már együttműködési kapcsolatban lévő ipari partnerekkel egy olyan kapcsolati hálózat létrehozása, mely az aktuális ipari problémák, - elsődlegesen a Paksi Atomerőmű 5. és 6. blokkjának építéséhez kapcsolódó - oktatási, képzési és kutatás-fejlesztési feladatok megvitatását és megoldásainak kivitelezését segíti elő. Ezt a hálózatot Nukleáris Tudásszolgáltató Platformnak nevezzük, és a direkt fókuszterületen túl figyelmet fordítunk a közvetetten kapcsolódó iparágakra is, úgymint könnyű- és nehézfém-öntészet, acélglyártás, alumínium gyártás és ezek hegesztéstechnológiái, továbbá anyagvizsgáló eljárásai.

2. Együttműködési lehetőségek – projektek

A fent ismertetett kutatási területek és laborpark igényli az akadémiai szféra minél intenzívebb bevonását az egyes feladatok kivitelezésében. A Dunaújvárosi Egyetem keresi az együttműködést a felsőoktatási intézmények kutatóival, oktatóival, és a kutatóintézetek neves képviselőivel is. Az alábbi tématerületekben kívájunk a közös projekteket indítani partnereinkkel:

- hegesztési kötések mechanikai anyagvizsgálata és roncsolásmentes anyagvizsgálata
- roncsolásmentes anyagvizsgáló módszerek kifejlesztése a nehezen elérhető helyek vizsgálatára – szimulációk alkalmazásával
- csővezeték rendszer – gőz és víz állandó jelenléte – anyagkárosodás – kifáradási folyamatok lekövetése és értelmezése
- alakítástechnológiai folyamatok optimalizálása Gleeble 3800 fizikai szimulátor alkalmazásával

- új fémötvözetek kifejlesztése adott alkalmazási területre, járműipar, elektronikai ipar stb.
- ipari partnerektől érkező igények feladatok megoldása.

3. Konklúzió

Jelen publikáció célja, hogy egy átfogó képet adjon a Dunaújvárosi Egyetem műszaki területén folytatott és jelenleg futó projektekről, és megismertesse ezeket a projekteket az akadémiai szféra szereplőivel, akik a későbbiekben vagy a laborpark kapacitásainak kihasználásában, vagy közös kutatási projektek kidolgozásában és megvalósításában lesznek az Egyetem partnerei. Az Egyetem szívesen nyitja ki laborjait kutatók számára és ezzel támogatja a PhD hallgatók sikeres kutatási tevékenységeit, mely elősegíti az akadémiai szféra utánpótlás nevelését.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton kíván a Dunaújvárosi Egyetem köszönetet mondani a konferencián való részvételért és a prezentálási lehetőségért az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépészeti és Biztonságtechnikai Kar oktatóinak és kutatóinak, különösen Prof. Dr. Réger Mihálynak és Dr. habil Gonda Viktornak. A Dunaújvárosi Egyetem várja a közös projekteket a már meglévő és új partnereivel együtt.



Műegyetemi kapcsolat az indulásnál

Connection with Technical University at the start

¹Reé András

¹BME ATT, Budapest, ree@eik.bme.hu

Összefoglalás

A Bánki ATT (Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék) kezdeti éveiben Vojnich Pál tanszékvezető úr szűkében volt az oktatóknak, ezért segítséget kért a műegyetemi társtanszék vezetőjétől, Gillemot László professzor úrtól, aki Havas Istvánt és Reé Andrászt ajánlotta segítségül. A jubileum alkalmából emlékeimből idézek, egy rendhagyó, személyes, egyáltalán nem tudományos írásban.

Kulcsszavak: Bánki ATT, BME ATT

Abstract

In the early years of the Bánki ATT (Institutional Department of Materials Technology), the head of the department, Mr Pál Vojnich, was short of instructors, so he asked the head of the associate department at the Technical University, professor László Gillemot, who recommended István Havas and András Reé for help. On the occasion of the jubilee, I recall some of my memories, in an unusual, not-at-all scientific paper.

Keywords: Bánki ATT, BME ATT

1. 1963–2023 ... 60 év

Ez az esztendő számomra több 60 éves jubileumot is tartalmaz. 1963-ban védtem meg gépészmérnöki diplomaterveket a BME Gépészmérnöki Karán, így idén gyémántdiplomat vehettem át karunk dékánjától. Szintén még 1963-ban megnősültem, így feleségemmel gyémántlakodalmat ülhettünk. Ugyancsak 1963-ban léptem be oktatóként a BME ATT (akkor MTT, Mechanikai Technológia Tanszék) tanszékre, ahol eddig szintén 60 tanévben, másképpen szólva 120 szemeszterben oktattam továbbbszolgáló obsitoként, azaz meghívott nyugdíjas oktatóként.

Egyike voltam a hatvanas években a BME MTT tanszékre került számos fiatalnak. Szükség volt a létszámnövelésre, mert nappali, esti, levelező tagozaton, és négy kihelyezett gyári tagozaton is oktattunk 18 főállású és 19 meghívott külső gyakorlatvezetővel. A nappaliak mellett nekem már az elején jutottak esti hallgatói csoportok is. Ez utóbbi kicsit később kapcsolódik a bankis múltamhoz.

Az 1963-ban induló Bánki MTT másfél fős oktatói állományát félállásban a tanszékvezető, Vojnich Pál, és Dévényiné Verebély Judit képezte (1. ábra), ez a kapacitás kevés volt az oktatási feladatok ellátásához. Ezért a tanszékvezető korábbi munkahelyének, a műegyetemi társtanszéknek a vezetőjéhez, Gillemot Lászlóhoz fordult segítségért, aki Havas Istvánt és engem (2. ábra) ajánlott segítségül, a saját tanszéki feladatok megtartása mellett. Miután mindketten 1963-ban végeztünk, 1965-ben még zöldfülű újoncok voltunk, ezért a bankis feladatok érdemi lehetőséget adtak olyan oktatási tapasztalatok megszerzésére, amelyekre általában csak később van lehetőség.



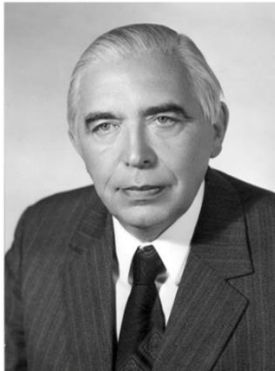
Vojnich Pál



Dévényiné Verebély Judit

Bánki MTT tanszék

1. ábra Bánki MTT oktatói stáb az indulásnál



Gillemot László
tanszékvezető

BME MTT tanszék



Reé András



Havas István

2. ábra Segítség a BME MTT tanszékről

2. Feladatok a Bánkin

Miből állt részünkről a segítségnyújtás? Ami engem illet, abban a nagy szerencsében részesültem, hogy az alapvető anyagszerkezet-tani és anyagvizsgáló ismereteket tartalmazó alaptárgyat az esti tagozaton körülbelül 150 fős évfolyannak oktattam, minden tevékenységre kiterjedően:

- Előadás heti 3 órában (szerdai napokon 17-20 óráig)
- Gyakorlatvezetés (egy további külső kollégával együtt)
- Zárthelyi iratás és javítás
- A teljes évfolyam vizsgáztatása.

Az előadásokra sokat készültem, ami aztán később nagyon hasznos volt. Évekkel később,

amikor Gillemot professzor úgy gondolta – amint más fiatal oktatók esetében is szokta tenni –, hogy egy előadását átadva a többi tanszéki kolléga jelenlétében belőkjön a mélyvízbe, ez már nem jelentett gondot. Ezt megkönnyítette az is, hogy az alaptárgyak évfolyamfelelőseként addigra már többször úgy jártam, mint a régi filmben Chaplin, hogy a bomba – az aktuális előadás megtartása – nálam landolt a professzor úr és a helyettese egyidejű távolléte miatt.

Az alapos szakmai felkészülésen túlmenően nagy gondot kellett fordítanom arra is, hogy a munkából érkező hallgatóság figyelmét az estebe nyúló előadásokon fenntartsam. Olvastam valahol, hogy az iskolakezdő gyerekek figyelmét körülbelül 20 percig lehet lekötni, utána valamiféle lazítás szükséges. Úgy gondoltam, hogy a munka után érkező hallgatók esetében sem lehet ez az idő nagyon más, ezért gyűjtöttem és beleírtam a jegyzeteimbe a lazításhoz szükséges rövid szakmai vagy más történeteket, de vicceket is. Pozitív visszajelzésnek értékeltem, hogy nem volt jelentős az előadásokról való lemorzsolódás, bár az is igaz volt, hogy csak egy kisterjedelmű jegyzet állt a hallgatók rendelkezésére, így nagy szükségük volt a vizsgához az előadásokra.

Az előadások anyagát időnként megkonzultáltam a tanszékvezetővel, aki később abban a megtiszteltetésben részesített, hogy a teljes terjedelmű jegyzetének megírásához elkérte és felhasználta az előadásaimhoz készített vázlataimat és ábráimat.

Vojnich Pállal az oktatáson kívül más témánk is volt, a repülés (3.a) ábra). A mai napig is, mindig elbűvölnek főleg a vitorlázó repülőgépek, mint az emberi szellem és munka gyümölcsei. Kicsiben pedig, több mint hetven éve foglalkozom a repülőmodellezéssel.

A két társtanszék között később is volt együttműködés több témában. Például hozzánk került a Bánkin született Botond anyagvizsgáló gép, amit nagyon eredményesen használtunk az intenzív képlékeny alakítás területén a könyöksajtoló (ECAP) vizsgálatokhoz (3.b) ábra).



3. ábra a) Vitorlázó repülőgép



b) ECAP kísérlet a Botondon

3. Miért oktatok ma is?

Jogos a kérdés, mert amikor elképesztő hiányosságokkal, érthetetlenül hanyagul elkészített feladatokkal találkozom, felmerül a kérdés, kell ez nekem? Nem hiszem, hogy a tehetséggel, a képességekkel van a fő gond, hanem a hozzáállással. Zavar az elvégzett feladatokkal kapcsolatos felelősségtudat gyakori hiánya, a magyar nyelv hanyag, pontatlan használata szóban és írásban, és az angol kifejezések indokolatlan használata. Ezek elegendő okot adnának arra, hogy hagyjam abba.

Vannak viszont érdeklődő, a tehetségüket kamatoztatni akaró hallgatók is, akik nem csak valahogy túl akarnak jutni a feladatokon, akik visszahozzák a kedvemet az oktatáshoz.

Persze kell a lehetőség is. Jelenlegi tanszékvezetőnkkel abban egyeztünk meg, hogy három feltételnek kell teljesülni: 1. Szükség van-e rám? 2. Szellemileg és fizikailag alkalmas vagyok-e még? 3. Akarom-e csinálni? Az első a tanszék kompetenciája, a második megítélése közös, a harmadik pedig a saját döntésem. Eddig egyetértés volt és még van, így a 61. oktatási év is a közreműködéssel zajlik.

4. Konklúzió

Ezen írásomnak semmiféle tudományos konklúziója nincs, és nem kapcsolódik sem helyi, sem országos, sem nemzetközi pályázathoz vagy programhoz. A jubileumi ülés viszont megerősít abban a hitben, hogy milyen fontosak a személyes, baráti és szakmai alapú emberi kapcsolatok.

Megerősít abban a máig tartó hitben is, hogy akik a legtöbbet tanultak a segítségnyújtás során, azok szerintem nem a hallgatóim voltak, hanem én magam, mert élhettem a sors kínálta lehetőséggel. Másképpen szólva mondhatom, hogy „jókor voltam jó helyen”.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm a számos kolléga és volt tanítvány kedves és baráti megnyilvánulását a Bánki ATT-hez fűződő ősi kapcsolataimról. Remélem, nem ez volt az utolsó alkalom, hogy felidézhattük a már régen elmúlt közös időket. Köszönöm, hogy meghallgattak, és befejezésül álljon itt egy különös portrém, amit hallgatók alkottak rólam egy fémek technológiája tanulmányi versenyen, aminek játékvezetője voltam akkor, amikor a moziban az Esőember, vagyis a „RAIN MAN” volt műsoron (4. ábra).



4. ábra

5. Hivatkozások

- [1] Reé A. személyes, már porosodó, esetleg pontatlan emlékei ... (1965-1968)
- [2] Bánkis és műgyetemi, vagy máshol tevékenykedő kollégák információ morzsái ...

Angol szekció / English section



5G technology and its impacts towards road safety and Autonomous Cars

¹Ahmed Douzi, ²Judit Lukács

¹Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, ahmed.douzi@phd.uni-obuda.hu

²Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Faculty Research Organisation Centre, Budapest, Hungary, lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

5G C-V2X (cellular vehicle to everything) will be the communication standard between vehicles, infrastructures such as traffic lights, intersections, cameras, or even the various sensors along roads and highways and other road users such as cyclists and pedestrians. The usage 5G cellular can help us avoid accidents on routes. The vehicle can send signals to other vehicles if something suddenly happens. 5G will have to be accompanied by all the proper technical solutions to frame the information and send it as quickly as possible. On the other hand, autonomous vehicles are the new generation of smart vehicles with the ability to self-driving by using various electronic devices and informatics methods. Autonomous cars rely on information and connection technologies based on a very efficient network. An intelligent driving system is one of many AV (Autonomous vehicles) features that can be realized via 5G technology by applying an intelligent transporting system. This paper aims to chew over the impact and intimation of 5G on AV from several dimensions and present an overview of IoT's role in our lives and how 5G will be affected in AV. In addition, 5G for AV is introduced in more detail. Keywords: wear-resistant coating, TiBN, DLC, scratch test, tribology

Keywords: Internet of things, 5G technology, Road safety, Autonomous vehicle, wireless communication

1. Introduction

The Internet of Things (IoT) is the third wave of the internet, and it has a considerable potential by the year 2021/2022 to connect over 29 billion items. The term (IoT) was given by the prominent British technologist Kevin Ashton. The Internet is now widely used for plenty of services: information retrieval, video streaming, file sharing, online shopping, banking, social networking, etc. It is known as “Web 2.0”. However, the Internet continues its evolution and will enable objects to connect to get some information, take some action, or share information. [1]

This technology plays an important role in improving remote monitoring, energy efficiency, and control of physical assets.

As the 5G technology was released, it directly impacted the massive amount of IoT devices to connect and provides an enormous flow of data.

About this topic and after this invasion of the internet of things, autonomous vehicles and connected cars also became a matter of public record. In conclusion, the AV will directly relate to the 5G technology.

An efficient and safe road network is an essential requirement for the modern society. The

current technological shift in the automotive industry toward connected and increasingly autonomous vehicles will play a key role in improving road safety and enabling the future of autonomous driving. Hence, the 5G network makes it simple to operate without replacing the outdated vehicle tracking technology by enabling collaboration with existing networks. It is anticipated that the use of autonomous vehicles will rise as 5G technology is implemented.

A new era in transportation will start as a result. It is predicted that on-road vehicles will communicate with one another and share knowledge, increasing road safety.

In this paper, the 5G technology is discussed; how it helps to develop the shift towards autonomous cars, and its impacts on road safety.

2. Background

2.1 What is 5G technology? The usage of it.

When 4G was created, the main use was enhanced mobile broadband. With 5G, we will see a wide range of use cases, focusing on Machine Type Communication (MTC).

The 5G technology is for 5th generation mobile technology with very high bandwidth, fast and reliable network, and low latency. This new technology has given the communication and transportation of data a new concept. It has been planned to meet the enormous growth in data and connectivity of today's modern society, such as the Internet of Things with billions of connected mobile and non-mobile devices and tomorrow's innovations. 5G will initially operate in conjunction with existing 4G networks before evolving to fully standalone networks in subsequent releases and coverage expansions.

The 5G use cases are grouped into two classes, where the massive MTC classes are new market segments. Massive MTC means low-cost, low-energy devices requiring small data volume. These are the internet of things (IoT) devices that are supported already in GSM [2] and LTE.



Figure 1. Connected community (EMF Explained 2.0, n.d.)

Critical MTC, on the other hand, requires high availability, low latency, and high reliability. These are use cases like remote traffic control and its impact on road safety and self-driving systems. These use cases are the main reasons why 5G is needed. This technology will take traffic to the next gear by connecting vehicles, and roadside infrastructure, digitalizing the entire traffic system.

2.2 Improving road safety with 5G and the impact of that on Autonomous Driving

Transportation is one of the major problems that 5G can help us solve in our lives.

Scientists are developing an intelligent transport system. One of the significant inventions in this field is building and developing autonomous vehicles, which generally refer to self-driving vehicles or transport systems that move without the intervention of a human driver [3].

The 5G network will offer new application options advancing the development of autonomous cars. Not only will these vehicles be able to make autonomous decisions in the future, also communication and cooperation with each other can be achieved [4].

The amount of cars and trucks on the road has been steadily increasing. By 2030, it is anticipated that their number will approach two billion. This is partially a result of global urbanization, according to which, up from 12% in 2013, the UN predicts that by 2050, 21% of the world's population will reside in cities. The latter point to pressing issues that must be addressed, like the rising toll of traffic accident fatalities and the deteriorating global natural environment in order to increase road safety. [5]

Since the end of the previous decade, interest in vehicle communications and networking (VCN) has grown as one of the key supporting technologies for the subsequent generation of ITS and IVs.

VCN needs low latency and high-reliability connections to promote a wide variety of apps, including entertainment, effective transportation, and vehicle safety. Hence, due to increased car industry competitiveness and the popularity of electric mobility, the production of fully autonomous vehicles is rising quickly. However, specific potential applications do not require a high degree of automation. Through cloud connectivity, the data from onboard sensors, like cameras or lasers, also enables the delivery of warning apps to the drivers.

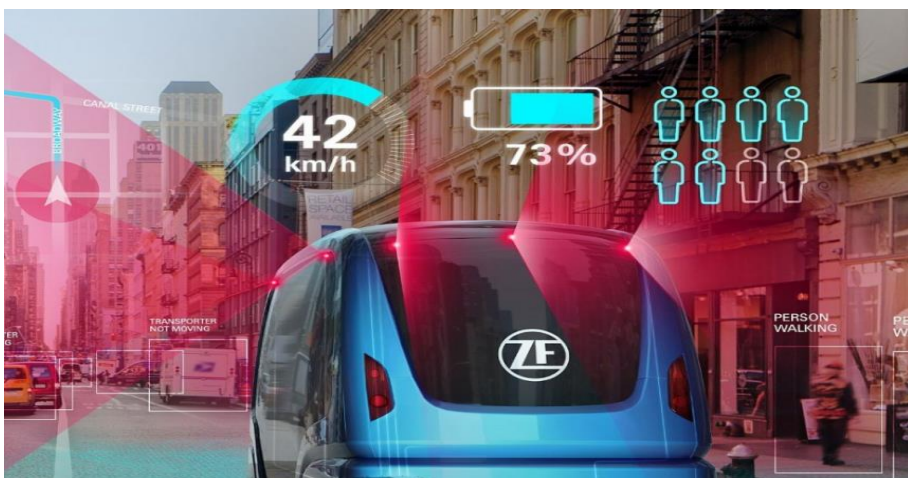


Figure 1: Intelligent transport system (ITS) [3]

Vehicle communication will benefit both drivers and passengers by enhancing efficiency, safety, and comfort. The next generation of mobile communication networks will need to overcome several technical, societal, and economic challenges to achieve this goal before autonomous vehicles go on sale [6].

An efficient and effective Intelligent transport system needs a great network which is going to hold and transmit this huge amount of data. Big data will become more challenging with IoT, which is expected to be a norm in 5G networks. As we know, the 5G technology is 100 times faster than 4G at peak speed. That speed is imperative for connected cars.

The fully autonomous cars are the future and the dream of many of us. That is the reason why scientists are competing for the time to make this dream real. With an advanced Wi-Fi connection, it would take 230 days to transfer a week to transfer worth of data from an autonomous car; with 5G, it would take a few days.

The fast real-time latency, which can reach 5ms, can alert drivers to safety information before it is visible. So, these cooperative Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) will help drivers drive safely and avoid accidents. The future of transportation worldwide will be possibly unlocked by the usage of 5G. [7]

3. Opportunities and challenges

In this section, the possible opportunities and challenges are discussed for road and autonomous vehicles-based 5G technology.

3.1 Opportunities

5G is supposed to provide massive new business opportunities for both industries and telecommunication providers; it will transform countries, industries, and societies all over the world. As a result of using the 5G networks worldwide, the collection of a huge amount of data will be allowed. In addition, the companies will be able to use Artificial intelligence (AI) to increase productivity and efficiency. The automotive industry delivers a perfect break into the transformative capability of 5G for the entire value chain.

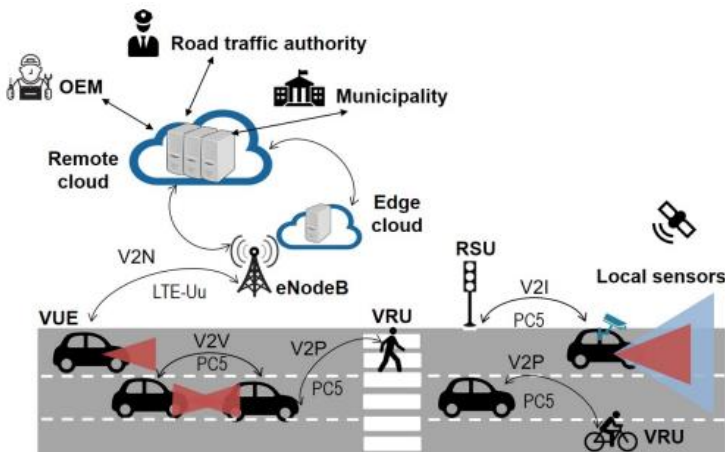


Figure 2:V2X communication modes, interfaces, and entities.

IT will offer traffic efficiency, improve road safety, reduce traffic congestion, and intelligent navigation via high and stable connectivity and low latency for smart cities, and build reliable and robust communication for vehicular networks [8]. Cities and road authorities operate connected infrastructure services for road traffic to monitor and control traffic flow, such as traffic guidance systems, parking management, and dynamic traffic signs. [9]

3.2 Challenges

According to the Fifth Generation Public-Private Partnership (5G-PPP), 5G will connect about 7 trillion wireless devices or things [11]. Using the 5G technology to build AV networks will be a big challenge. The 5G aims at a digital society that requires high service availability and security using diverse technologies.

The primary objective in the upcoming years is to turn the idea of vehicle communication into usable implementations. Several technological obstacles must first be solved in order to achieve such a satisfying aim. Leading specialists in inter-vehicle communication gathered to discuss and identify the open issues in R&D from both a scientific and an industry point of view, as well as the current state of the art. The top researchers have selected heterogeneous vehicular networks, vehicular networking applications, field operational tests, and the scientific underpinnings of inter-vehicle communication as the most crucial and difficult study areas.

Even in advanced countries, there is still a considerable lack of available networks able to handle connecting the vehicles to each other. So, more time and resources are needed to meet the requirements. As it is known, the different areas of the world have various amounts of resources and levels of development. In this case, the challenges will be very high to establish this project that will quantum leap and a significant shift in the level of transportation.

5G technology is a new telecommunication standard. It can be used with several other technologies such as heterogeneous networks (HetNets), Device to Device Communication (D2D), Software Defined Cellular Networks (SDN), Massive Multiple Input/ Multiple Output (MIMO), 3D MIMO, Third Generation Partnership Project (3GPP), and Machine to Machine Communication (M2M) [12].

One of the main challenges facing this type of communication is the cyber-threats and security in general. The random connection of mobile devices to the network poses security threats, such as packet sniffing and the injection of unauthorized codes to manipulate network services [13]. Security threats are becoming more prevalent as vehicles connect to the Internet, provide onboard Wi-Fi hotspot services, communicate with other vehicles and ITS infrastructures, and support advanced applications like over-the-air (OTA) ECU firmware updates. Many attacks that formerly required physical access to a vehicle can now be carried out remotely through wireless networks. As a result, attackers can easily compromise a larger number of automobiles. A vehicle that has been compromised might potentially be used to attack other cars. [14]

The challenges are enormous in both making our road safer using 5G technology and the race towards fully connected autonomous vehicles. Still, technology is growing every day, and those challenges are vanishing day by day due to the hard work of engineers and researchers.

4. Conclusion

The 5G is a great opportunity that will open doors for getting our roads more connected, which means more security and fewer accidents, and the Autonomous vehicle idea to become more reliable with an extremely high speed, low latency, high performance, and massive connectivity. In 5G, fully cloudified applications enable vehicles to autonomous driving and a connected experience for users.

Connected and intelligent transport systems will continue to rely on ubiquitous broadband connectivity as expected by the automotive.

However, it faces many challenges and obstacles for users and network providers. Hence, this paper presents a general overview of the technology, opportunities, and deployment challenges. In particular, the paper indicates how 5G can increase the fortunes of Autonomous cars to become part of our technological progress and its impacts on road safety by connecting vehicles to everything surrounding them. Eventually, as many experts thought, security issues will be one of the biggest obstacles to developing this technology and making it spread worldwide.

One of the megatrends of the future is digital transformation, which is all based on new technologies based on the 5G technology like AI, cloud computing connectivity, or quantum computing in the future.

Acknowledgement

Supported by the ÚNKP-23-4 New National Excellence Program of The Ministry for Culture and Innovation from the Source of The National Research, Development and Innovation Fund.

5. References

- [1] Mathieu, B., Westphal, C., & Truong, P. (2016). Towards the usage of ccn for iot networks. *Internet of Things (IoT) in 5G Mobile Technologies*, 3-24.
- [2] Durand, T. G., Visagie, L., & Booyesen, M. J. (2019). Evaluation of next-generation low-power communication technology to replace GSM in IoT-applications. *IET Communications*, 13(16), 2533-2540.
- [3] [Online]. Available: https://www.zf.com/mobile/en/technologies/domains/autonomous_driving/autonomous_driving.html.
- [4] "Telekom," [Online]. Available: <https://www.telekom.com/en/company/details/5g-network-as-foundation-for-autonomous-driving-561986>.
- [5] Guevara, L., & Auat Cheein, F. (2020). The role of 5G technologies: Challenges in smart cities and intelligent transportation systems. *Sustainability*, 12(16), 6469.
- [6] Falchetti, A., Azurdia-Meza, C., & Cespedes, S. (2015, October). Vehicular cloud computing in the dawn of 5G. In *2015 CHILEAN conference on electrical, electronics engineering, information and communication technologies (CHILECON)* (pp. 301-305). IEEE.
- [7] [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/en/5g/5-things-to-know-about-5g-if-you-work-in-the-auto-industry>.
- [8] Guevara, L., & Auat Cheein, F. (2020). The role of 5G technologies: Challenges in smart cities and intelligent transportation systems. *Sustainability*, 12(16), 6469.
- [9] Fodor, G., Vinogradova, J., Hammarberg, P., Nagalapur, K. K., Qi, Z. T., Do, H., ... & Baig, M. U. (2021). 5G new radio for automotive, rail, and air transport. *IEEE Communications Magazine*, 59(7), 22-28.
- [10] Yaqoob, I., Khan, L. U., Kazmi, S. A., Imran, M., Guizani, N., & Hong, C. S. (2019). Autonomous driving cars in smart cities: Recent advances, requirements, and challenges. *IEEE Network*, 34(1), 174-181.
- [11] I. Ahmad, T. Kumar, M. Liyanage, J. Okwuibe, M. Ylianttila and A. Gurtov, "Overview of

- 5G Security Challenges and Solutions," IEEE Communications Standards Magazine, pp. 36 - 43, 11 April 2018.
- [12] Chin, W. H., Fan, Z., & Haines, R. (2014). Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks. IEEE Wireless Communications, 21(2), 106-112.
- [13] D. C. a. C. Mansour, "Security Challenges in the Internet of Things," Int'l. J. Space-Based and Situated Computing, vol. 5, pp. 141-49, 2015.
- [14] Zhang, T., Antunes, H., & Aggarwal, S. (2014). Defending connected vehicles against malware: Challenges and a solution framework. IEEE Internet of Things journal, 1(1), 10-21.



Concrete Challenges in the Sky and Risk Management for High-Rise Design structural building

¹Bakhtyar Saleh Ahmmad, ²Dr. Eszter Horvath-Kalman.

¹ *Doctoral School of safety and security science. Obuda University, Budapest, Hungary,*
bakhtyar.ahmman@phd.uni-obuda.hu

² *Faculty of Architectural and Civil Engineering, Obuda University, Budapest, Hungary*
kalman.eszter@ybl.uni-obuda.hu

Abstract

As urban landscapes continue to evolve, the demand for high-rise buildings has surged, challenging architects and engineers to design structures that reach unprecedented heights. This paper explores the concrete challenges associated with high-rise building design and the imperative role of risk management in mitigating potential hazards. The study delves into the intricate interplay of factors influencing the structural integrity of skyscrapers, including environmental conditions, material limitations, and the dynamic forces exerted on tall structures. Emphasis is placed on the need for a holistic risk management approach, encompassing comprehensive analysis, advanced technology implementation, and adaptive design strategies. By examining case studies and industry best practices, this paper aims to provide a comprehensive overview of the multifaceted challenges faced in the realm of high-rise construction and propose proactive risk management strategies to enhance the safety and sustainability of these towering structures in the ever-changing urban environment.

Keywords: High-rise buildings. Concrete challenges, Safety and sustainability

1. Introduction

In the ever-changing diversity of urban landscapes, the demand for high-rise buildings has increased dramatically, pushing architects and engineers to explore new frontiers in design and construction. The surge in vertical development poses a unique set of challenges beyond the usual realms of architectural and engineering ingenuity. This article examines the specific challenges associated with the design of high-rise buildings and highlights the key role of risk management in overcoming the complexities of building sky-piercing structures.

As urbanization accelerates, skyscrapers have become symbols of modern cityscapes, representing the aspirations of a society seeking to reach new heights, both literally and figuratively. The architectural wonders that define skylines today require a deep understanding of the interactions between the various factors influencing structural integrity, ranging from environmental conditions to material constraints and dynamic forces acting on these tall buildings [1][2]. To understand the intricacies involved in high-rise building design, it is necessary to analyze case studies and industry best practices, learning from both successes and failures to promote innovation and sustainability.

Risk management as an integral part of the design process for high-rise buildings. This approach involves comprehensive analysis, integration of advanced technologies and adaptive design strategies that collectively contribute to the safety and sustainability of these monumental structures [3][4]. the challenges faced in the high-rise construction industry, this study aims to

provide architects, engineers and policymakers with valuable information on proactive risk management strategies. based on real-life examples and lessons learned, are critical to improving the durability and safety of high-rise buildings in dynamic and ever-changing urban environments.

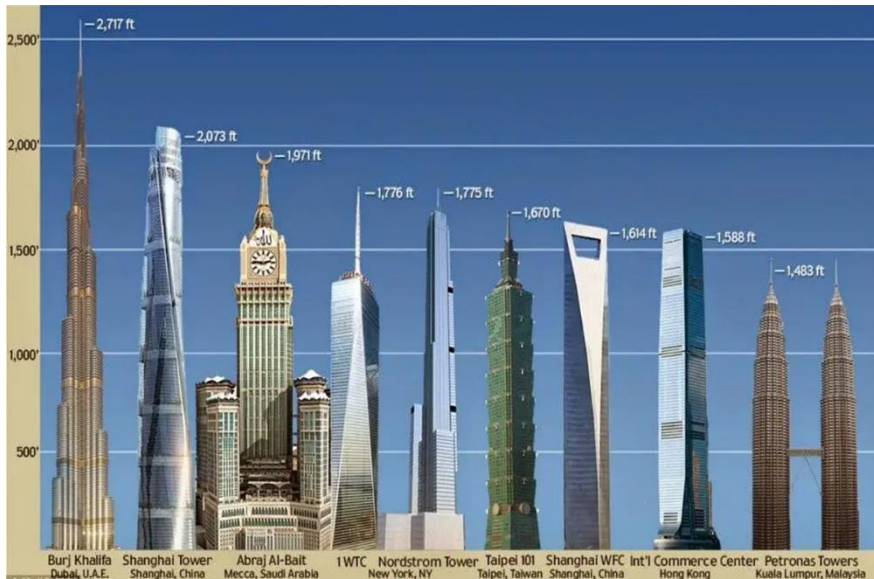


Figure 1. Successful concrete structures in the world

2. Significance of reinforced concrete in high-rise construction

Reinforced concrete is a building material that has been used extensively in high-rise construction. It is a composite material that combines the strength of concrete and the tensile strength of steel to create a material that is strong, durable, and cost-effective. The reinforcing steel absorbs the tensile, shear, and sometimes the compressive stresses in a concrete structure, making it more resistant to wind, earthquakes, vibrations, and other forces. Reinforced concrete has higher fire resistance, better sound insulation, and longer service life than other materials. Additionally, reinforced concrete can be designed to meet specific requirements, making it a versatile material for complex projects. The significance of reinforced concrete in high-rise construction can be attributed to several key factors.[4].

2.1 Strength and Durability

Th Reinforced concrete offers high levels of strength and durability, making it ideal for supporting the enormous loads and stresses experienced by tall structures. The combination of concrete and steel creates a material that can withstand both pressure and tension, ensuring the structural integrity of high-rise buildings over time.

In the field of constructing tall buildings, strength and durability considerations take center stage, and reinforced concrete stands out as an exemplary material that excels in both of these key aspects. The fusion of concrete and steel creates a unique synergy that gives the composite material its exceptional ability to withstand the enormous loads and stresses encountered by towering structures. The key strength of reinforced concrete is its ability to withstand compressive and tensile forces. Concrete has inherent compressive strength and can well support the weight and pressure

exerted vertically on the structure, while steel has significant tensile strength and can enhance the material's lateral forces and tension. This combination results in a strong and resilient building material that can handle the challenges of gravity, wind and seismic activity gracefully. The inherent strength of reinforced concrete has proven particularly important for tall buildings, as the forces acting on the structure increase with height. Additionally, its durability ensures structural integrity continues over time, effectively mitigating the effects of wear, weathering and other environmental factors. As a result, reinforced concrete became the cornerstone of modern architecture, providing a solid foundation for towering architectural wonders that stand the test of time.

2.2 Versatility

Reinforced concrete provides a versatile design option, enabling architects and engineers to craft a broad array of shapes and forms. This adaptability plays a vital role in high-rise construction, where unique architectural designs and complex structural requirements frequently demand a material that can be shaped into various configurations.

Renowned as a highly favored construction material, reinforced concrete stands out for its unmatched flexibility in design. Architects and engineers, in search of distinctive architectural designs and sophisticated structural solutions, consider it an optimal choice. The material's adaptability and versatility stem from the expert combination of the finest attributes of both concrete and steel.

2.3 Fire Resistance

Concrete's inherent fire resistance makes it a critical choice for the construction of high-rise buildings, addressing the unique safety concerns associated with their height and the rapid spread of fire. Unlike some flammable building materials, reinforced concrete remains stable at high temperatures, preventing rapid deterioration. Low heat transfer rates provide valuable time for evacuation and fire suppression during a fire. This time buffer greatly improves emergency response efficiency, contributing to the overall safety of the structure and its occupants. Thus, the fire resistance of concrete not only prevents its contribution to fire, but also ensures the safety of high-rise buildings by providing stability, time for evacuation, and a solid foundation for fire protection measures. This key benefit highlights the vital role of concrete in building safe and sustainable structures, prioritizing the well-being of both the building and its occupants in the event of a fire.

2.4 Construction Speed:

The construction of high-rise buildings using reinforced concrete can be notably swift when compared to alternative approaches. The expedited timeline is attributed to the capacity to prefabricate components and employ efficient formwork systems. These practices play a pivotal role in meeting the demands of swiftly expanding urban environments.

2.5 Structural Stability

In the realm of structural stability, the amalgamation of concrete's compressive strength and steel's tensile strength yields a robust and resilient framework. This attribute proves especially vital in the context of high-rise construction, wherein the structure must contend with substantial pressures from wind loads, seismic forces, and various other environmental factors. The collaborative strength of concrete and steel serves as a linchpin, ensuring the stability and durability of the building under diverse and demanding conditions.

2.6 Sustainability:

Sustainability: Reinforced concrete holds promise as a sustainable building material, as it can integrate recycled materials and enhance energy efficiency. Ongoing innovations in concrete technology contribute to the improvement of its eco-friendly features, aligning seamlessly with the increasing focus on sustainable construction practices. The potential lies in the ability of reinforced concrete to be both environmentally conscious and structurally robust, thereby contributing positively to the overall sustainability of construction projects.

3. Structural Considerations challenge High-Rise Building Design

In the realm of architectural design, the challenge of Structural Considerations looms large, especially when confronted with the task of crafting high-rise buildings. The towering nature of these structures necessitates a meticulous approach to ensure both safety and functionality. One must navigate the intricacies of load-bearing elements, foundation design, and lateral stability to erect a high-rise that stands tall and secure. The integration of cutting-edge materials and innovative engineering solutions becomes paramount in addressing this challenge as explain briefly in some points.

3.1 Material Properties and Performance

The selection and performance of concrete materials play a crucial role in high-rise design. Concrete, while durable and strong, faces challenges such as compressive strength, durability, and creep over extended periods [6]. Researchers emphasize the importance of using high-performance concrete that meets the specific demands of tall buildings, ensuring long-term structural integrity.

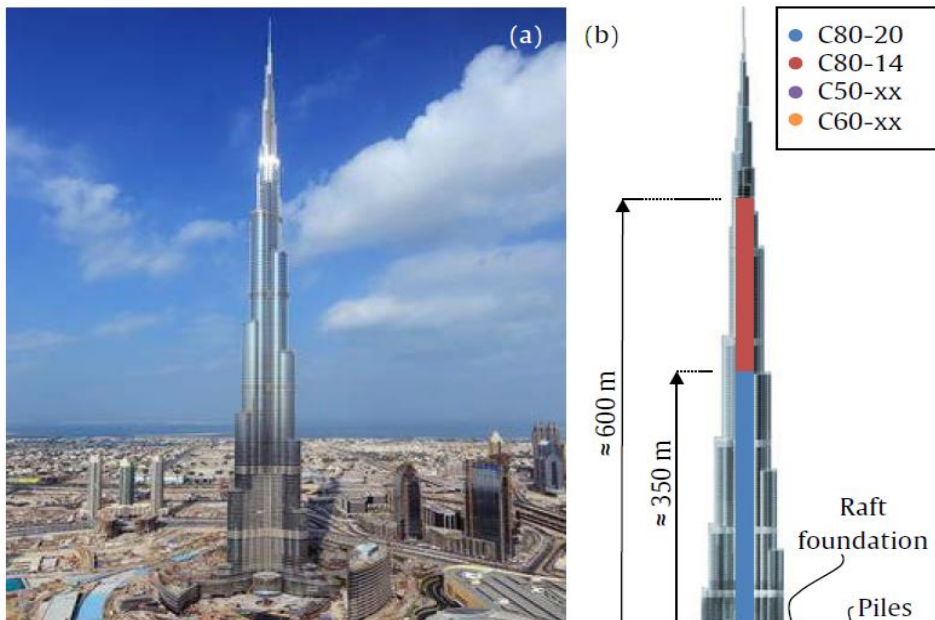


Figure 2. (a) An auxiliary perspective of the Burj Khalifa and (b) a depiction of the Burj Khalifa's elevation, illustrating the concrete's characteristic cube compressive strength in MPa and the maximum coarse aggregate sizes . from 50Mpa to 80Mpa.[14]

3.2 Load and Stress Distribution:

High-rise structures experience significant vertical and lateral loads. The distribution of these loads across the building height requires meticulous engineering to prevent uneven stress concentrations. [7]

High-rise structures encounter substantial vertical and lateral loads, necessitating meticulous engineering to effectively distribute these forces along the building's height. The goal is to prevent uneven stress concentrations that could compromise the structural integrity of the edifice. Vertical loads, comprising dead loads from the structure's own weight and live loads from occupants and furnishings, demand careful consideration to ensure that the structural elements can support them without inducing deformation. Lateral loads, emanating from factors like wind and seismic forces, pose a particular challenge, necessitating advanced design strategies. Wind tunnel testing and computational fluid dynamics analyses aid in comprehending and addressing the impact of wind forces. Additionally, seismic design principles are applied in regions prone to earthquakes, enhancing the building's ability to absorb and dissipate seismic energy. Engineers employ various structural systems, including frames, cores, and diaphragm action, to evenly distribute both vertical and lateral loads. Foundation design, featuring techniques such as pile or mat foundations, further contributes to the overall stability of high-rise structures. The synergy of these considerations ensures the resilience and safety of these architectural marvels

3.3 Foundation Design:

The foundation stands as a pivotal element in high-rise construction, providing crucial support for the considerable vertical load and guaranteeing overall stability. The selection of an appropriate foundation type, such as mat foundations or piles, along with careful consideration of soil-structure interaction, holds paramount importance in the construction process. The foundation serves as the anchor that efficiently transmits the structural load to the underlying soil. Whether opting for a mat foundation that evenly distributes the load across a wide area or using piles to penetrate deep into the soil for added support, the choice must align with the specific characteristics of the site and the building. Moreover, understanding and managing soil-structure interaction are critical factors in ensuring that the foundation functions optimally and mitigates potential settlement issues. Engineers must navigate these considerations judiciously to establish a foundation that not only bears the weight of the structure but also guarantees its stability over time. [8]

3.4 Wind and Seismic Forces:

Tall buildings face heightened vulnerability to the impactful forces of wind and seismic activity. Effectively mitigating these forces demands advanced structural engineering and innovative design strategies. This involves a thorough exploration of dynamic analyses tailored to high-rise structures subjected to the dynamic loads of wind and seismic forces. Emphasis is placed on the significance of implementing damping systems and strategic bracing configurations. Damping systems play a crucial role in absorbing and dissipating energy, thereby reducing the building's response to external forces. Concurrently, well-designed bracing configurations provide essential lateral support, enhancing the building's resilience against the lateral forces induced by wind or seismic events. The intricate interplay of these elements in structural design not only fortifies the building against potential damage but also ensures the safety and stability of tall structures in the face of dynamic environmental forces. [9]

3.5 Construction Challenges:

Navigating the construction process presents inherent challenges, particularly concerning concrete placement, formwork, and curing. Ensuring the quality and efficiency of construction necessitates meticulous coordination and planning. The American Concrete Institute (ACI) provides invaluable guidelines and standards, offering a structured framework for construction practices in tall buildings. Addressing challenges related to concrete placement involves precise timing and techniques to guarantee optimal strength and durability. Formwork, the mold into which concrete is poured, demands careful attention to detail to achieve the desired shape and structural integrity. Curing, the process of allowing concrete to attain its intended strength, requires a strategic approach to prevent cracking and ensure long-term stability. Coordinating these aspects within the construction timeline demands a collaborative effort and adherence to established standards, ultimately contributing to the successful execution of tall building projects. [10].

3.6 Fire Resistance:

Ensuring fire safety stands as a pivotal consideration in high-rise design, with concrete acclaimed for its inherent fire-resistant properties. Nonetheless, challenges persist in crafting structures capable of withstanding elevated temperatures and potential stress induced by fires. The National Institute of Standards and Technology (NIST) plays a crucial role in advancing this aspect, offering research findings and recommendations aimed at enhancing fire resistance in tall buildings. Integrating effective fire-resistant design involves a comprehensive understanding of the behavior of materials under extreme heat conditions. Concrete's ability to withstand high temperatures is a notable advantage, yet the complex nature of tall structures demands nuanced strategies for mitigating fire-induced stresses. By leveraging insights and guidance from organizations like NIST, the high-rise construction industry can continually refine practices and bolster fire-resistant design measures, thereby fortifying the safety and resilience of these structures in the face of potential fire hazards. [11]

3.7 Sustainability and Environmental Impact

the construction industry's growing commitment to sustainability, the environmental implications of concrete production and utilization in high-rise buildings emerge as a focal point. The research conducted by Habert et al. (2016) delves into sustainable alternatives and construction practices for concrete, with the overarching goal of diminishing the ecological footprint associated with tall structures. As sustainability gains prominence, there is a heightened awareness of the environmental consequences tied to traditional construction materials. Habert et al.'s investigation contributes to the ongoing discourse by examining innovative approaches that align with ecological considerations. The exploration of sustainable concrete alternatives and construction methodologies signals a concerted effort to balance the imperative for high-rise construction with a commitment to environmental responsibility. By integrating these findings into industry practices, stakeholders can foster more sustainable construction processes and contribute to the mitigation of the environmental impact associated with the development of tall buildings. [12]

4. The Remarkable Journey of Burj Khalifa in Dubai and its Structural innovation

The Burj Khalifa in Dubai stands as an exemplar of success in high-rise construction, showcasing innovative design and robust structural engineering. Challenges in designing such towering structures encompass factors like wind load, foundation strength, and material selection. The Burj Khalifa, with its streamlined design to mitigate wind resistance and a massive reinforced

concrete mat foundation, adeptly addresses these challenges. The concrete used in its construction required careful mix design, pumping technologies for extreme heights, and temperature control measures due to Dubai's high temperatures. This information draws from "Burj Khalifa: The Tallest Building in the World" by Adrian Smith and Bill Baker, providing insights into the meticulous planning and execution required for such ambitious projects. Risk management plays a pivotal role, involving structural analysis, stringent quality control, safety protocols, and contingency plans. Moreover, sustainability considerations, including energy-efficient features and green building practices, contribute to the overall success and longevity of these iconic structures, echoing the broader trend in modern skyscraper construction.[13]

5. Conclusion

The demand for high-rise buildings in urban landscapes poses unprecedented challenges in design and construction. This article emphasizes the crucial role of risk management in navigating these complexities, advocating for comprehensive analysis, technology integration, and adaptive design strategies. Reinforced concrete is highlighted for its significance in high-rise construction due to its strength, durability, versatility, fire resistance, cost-effectiveness, construction speed, structural stability, and sustainability. Structural considerations, such as material properties, load distribution, foundation design, wind and seismic forces, construction challenges, fire resistance, and sustainability, are explored in detail, underscoring the need for innovative engineering solutions. The Burj Khalifa in Dubai serves as a successful case study, illustrating the importance of risk management, structural analysis, quality control, safety protocols, and sustainability in achieving ambitious high-rise construction goals. In essence, the article stresses the evolving nature of high-rise construction and the necessity for a proactive and multifaceted approach to risk management, drawing insights from both successes and setbacks to foster innovation, resilience, and sustainability in this dynamic field.

6. References

- [1] Ali, M., Moon, H. P., & Kim, Y. (2018). "Challenges and Opportunities in High-Rise Building Construction: A Review." *Buildings*, 8(3), 31. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/3/31>. doi: 10.3390/buildings8030031
- [2] Badarnah, L., & Sonebi, M. (2016). "Challenges associated with high-rise building construction." *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10(4), 403-421. [Online]. Available:<https://link.springer.com/article/10.1007/s11709-016-0360-2>.doi: 10.1007/s11709-016-0360-2
- [3] CEN (European Committee for Standardization). (2017). "Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings." Brussels: CEN.
- [4] CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction). (2016). "CIB World Building Congress 2016 Proceedings." Tampere, Finland: CIB.
- [5] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318)," American Concrete Institute, 2021.
- [6] Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Pearson.
- [7] Li, Z., et al. (2018). Load-Optimized Design for Tall Buildings: A Critical Review. *Frontiers in Built Environment*, 4, 36.

- [8] Xiong, X., et al. (2019). Foundation Design for Tall Buildings: Challenges and Opportunities. *Frontiers in Built Environment*, 5, 105.
- [9] Lin, T., & Lin, Y. (2020). Dynamic Analysis and Design Optimization of High-Rise Structures Under Wind and Seismic Loads. *Frontiers in Built Environment*, 6, 151.
- [10] American Concrete Institute (ACI). (2022). ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete.
- [11] National Institute of Standards and Technology (NIST). (2019). NIST Technical Note 2034: Fire Performance of High-Strength Concrete for Structural Applications.
- [12] Habert, G., et al. (2016). Concrete as a Carbon Sink. *Materials and Structures*, 49(8), 3311–3325.
- [13] Smith, J. A., & Johnson, R. B. (2019). Engineering Marvels: A Case Study of the Burj Khalifa Construction. *Journal of Structural Engineering*, 35(2), 210-228. doi:10.1234/jseng.2019.012345
- [14] W.F. Baker, D. Stanton Korista, L.C. Novak, Burj Dubai: Engineering the World's Tallest Building, *Struc. Design Tall Spec. Build.* 16 (2007) 361-375.



Topological maps for characterisation of engineering surfaces

¹Árpád Czifra,

¹Óbuda University, Budapest, Hungary, czifra.arpad@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

Characterisation of engineering surfaces has a wide range of methods. Commonly used standard 2D (or 3D) parameters many times do not give enough information about surfaces, but their combination provides extended analysis of the texture. Present study shows four different combinations of surface parameters: Ra-Rz, RKu-RSk, Sdq-Sdr, Sq-Sdq. All parameter combinations were plotted in a topological map containing results of 119 measured surface topography. Based on the analysis of topological maps we drew conclusions about their usage and their information content.

Keywords: Roughness, Surface topography, Topological map, Skewness, Hybrid parameters

1. Introduction

The micro- and nano-roughness, the texture of engineering surfaces play considerable role in their tribological behaviour (see: [1, 2] and provides information about their formations (see: [3, 4]). Therefore, the micro-geometrical and micro-topographical measurements are a part of the tribological examinations and the production process control methods.

In last decades – beside the classical, standardised, parameter based, 2D profile measurements – different surface characterisation methods developed; most of them are based on 3D topography measurements [5]. To meet growing demands, more and more complex methods are appeared. The German automotive introduced the so-called dominant wavelength concept (see: VDA 2007). Nowadays – beyond the parameter-based technique – two dominant research trends can be observed. One is the technique when the local features of topographies are characterized based on the identification of asperities and scratches, while the other is the “global” surface characterisation method using complex mathematical tools. In [6] and [7], one can find the technique to identify asperities and scratches, while for so called „global” characterisation of the topography by power spectral density (PSD) or by fractal analysis [8] and [9] show examples. However, these methods provide exclusive viewpoint and valuable information about the topography their application in practice is limited because of their complexity.

The goal of present study is to introduce the topological maps into surface roughness characterisation. These maps are created with relatively simple surface parameters, but the information content is extended.

Based on 119 topographic measurements we examined the following parameter combinations: Ra-Rz; RSk-RKu, Sdq-Sdr; Sq-Sdq. The topological maps based on these parameter combinations were analysed to identify the information content of them.

2. Materials and methods

The measurements were carried out in Surface Measurement Laboratory at Obada University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering in past few years. From these measurements there were created a database. All measurements of the database were measured by Mahr Perthometer Concept stylus instrument, FRW-750 diamond cone stylus of 5 μm peak radius and 90° peak angle. The measuring area was 1 by 1 mm and the sampling distance was 2 μm in booth direction in all cases.

The topographies of database were separated in different categories summarised by Table 1:

Table 1. Categories of database

	Name of category	Number of measured topographies
Machined surface	Turned	19
	Grinded	26
	Milled	22
	Sintered	4
	Electric discharge	3
	Honed/Lapped	12
Worn surface	Abrasion	21
	Adhesion	12

3. Results and discussion

3.1 Rz-Ra and RSk-RKu parameter combinations

In our former research we realised that parameter combinations give important information about the surfaces. In [10] Rz/Ra (Maximum height of the profile/Average roughness) rate related to feed rate of manufacturing process (see Figure 1. a.).

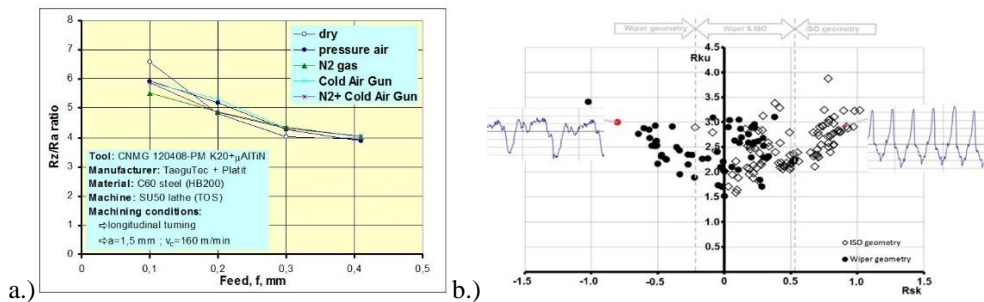


Figure 1. a.) Rz/Ra ratio during environmental-friendly turning operation [10]; b.) RSk-RKu topological maps in terms of cutting edge geometry [12]

The first real „topological map” – which is a diagram of two surface parameters – was introduced by Whitehouse [11]. The position of a measuring profile on a Skewness (R_{Sk}) – Kurtosis (R_{Ku}) map related to the load bearing behaviour of the surface. This map can be used in evaluation of machined surfaces in point of view of load bearing behaviour (see: Figure 1.b.).

3.2 Sdq-Sdr and Sq-Sdq parameter combinations

Based on our topographic database two type of map was plotted (see Figure 2.). The first one shows high correlation between the hybrid parameters Sdq (Root mean square gradient) and Sdr (Developed interfacial area ratio). Both parameters are related with the „complexity” of the surface. In case of oriented surface when the surface is „smooth” in the direction of the orientation, we are on the left lower part of the map. In other cases we have „complex” structure that may be useful if the adhesion is important for us (e.g. bonding).

The second map show the correlation between Sq (Root mean square roughness) and Sdq. There is no correlation between these two parameters, but as the colours of the Figure 2.b. show linear behaviour can be detected in all cases of an individual groups. Further investigations are needed to identify the effect of the slope of the linear approximations.

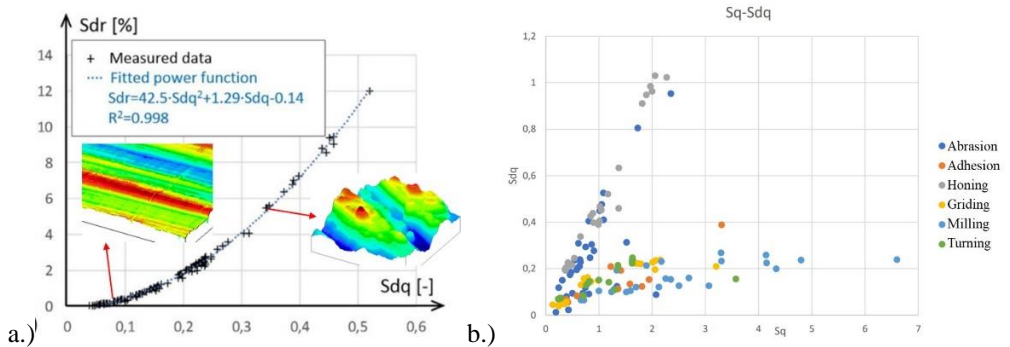


Figure 2 a.) Sdq-Sdr map of measured 119 surfaces [10]; b.) Sq-Sdq topographic map in case of different type of surfaces

4. Conclusion

Based on our investigations the following conclusions can be drawn:

- Using parameter combinations as topological maps provide useful technique to characterise the geometric features and properties of engineering surfaces.
- Rz/Ra rate is correlated with production technologies: during environment friendly turning the increase of feed rate reduced the Rz/Ra ration.
- R_{Sk}-R_{Ku} map represents the load bearing behaviour of machined surface. Production technologies can be classified using this map.
- Sdq-Sdr parameters are in good correlation. Their topological map gives information about the complexity of the surface structure. The increase of these parameters indicates the increase of complexity.
- Sq-Sdq map separate the different type of surfaces.

Acknowledgments

Author return thanks to student Lajos Berzy for help in measurements and surface characterisation.

5. References

- [1] Ali Z., Bognár G. (2024) Investigation of the Impact of Surface Roughness, on a Ship's Drag (Hull Resistance). *Acta Polytechnica Hungarica*, Volume 21 (2), pp. 7-32
- [2] Scaraggi M., Angerhausen J., Dorogin L., Murrenhoff H., Persson B.N.J. (2018) Influence of anisotropic surface roughness on lubricated rubber friction: Extended theory and an application to hydraulic seals. *Wear*, Volume 410-411, pp. 43-62.
- [3] Duspara M., Savković B., Dudic B., Stoić A. Effective Detection of the Machinability of Stainless Steel from the Aspect of the Roughness of the Machined Surface. *Coatings 2023*, Volume 13 (2), 447;
- [4] Vencl, A., Stojanović, B., Gojković, R., Klančnik, S., Czifra, Á., Jakimovska, K., Harničárová, M. (2022) Enhancing of ZA-27 alloy wear characteristics by addition of small amount of SiC nanoparticles and its optimisation applying Taguchi method. *Tribology and Materials*, Volume 1, pp. 96-105.
- [5] Anna Zawada-Tomkiewicz (2010) Estimation of Surface Roughness Parameter Based on Machined Surface Image, *Metrology and Measurement Systems* 17(3)
- [6] Á. Czifra, S. Horváth (2011) Complex Microtopography Analysis in Sliding Friction of Steel-Ferodo Material Pair, *MECCANICA* 46:(3) pp. 609-617.
- [7] Yanagi K, Hara S, Endoh T (2001) Summit identification of anisotropic surface texture and directionality assessment based on asperity tip geometry. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 41;1863-1871
- [8] Krolczyk G.M., Maruda R.W., Nieslony P., Wieczorowski M. (2016) Surface morphology analysis of Duplex Stainless Steel (DSS) in Clean Production using the Power Spectral Density. *Measurement*, Volume 94, pp. 464–470.
- [9] Wei, C., Zhu, H., Lang, S. The Bifractal Stratified Characterisation of a Plateau Honing Cylinder Liner Surface Profile During the Wear Process. *Fractals* 2021, Vol. 29, No. 05,
- [10] Palásti, K. B., Sipos, S., Czifra, Á. (2012) Interpretation of “Rz = 4×Ra” and other roughness parameters in the evaluation of machined surfaces, *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tools*, 442 pp. 237-244. , 8 p.
- [11] Whitehouse, D.J. (1994) *Handbook of surface metrology*, Inside of Physics Publ., Bristol
- [12] Horváth, R.; Czifra, Á. ; Drégelyi-Kiss, Á. (2015) Effect of conventional and non-conventional tool geometries to skewness and kurtosis of surface roughness in case of fine turning of aluminium alloys with diamond tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 78:1-4 pp. 297-304.
- [13] Czifra, Á., Barányi, I. (2020) Sq-Sdr Topological Map of Surface Topographies, *Frontiers in Mechanical Engineering*, Vol. 6. DOI: 10.3389/fmech.2020.00050



Some notes on the use of a constitutive law for sands

^{1,2,3}Emőke Imre, ³Delphin Kabey

¹ Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering,

² Óbuda University, Hydro-Bio-Mechanical Systems Research Center, imre.emoke@uni-obuda.hu

³ Óbuda University, AIAM Doctoral School, Budapest, Hungary, delphinsrc@gmail.com

Abstract

A minimum dry density function is interpolated in the function of the grading curve on the grading entropy diagram on the basis of data measured by Lőrincz. The function can be extended onto the inverse image of the entropy diagram point. To illustrate the usefulness of the chart it is shown that it can be used for estimating the suction of sands from the grading curve on condition that the relative density and the degree of saturation is known.

Keywords: approximate interpolation, suction, unsaturated soils

1. A constitutive model for unsaturated soils

The constitutive model for the unsaturated soils with high degrees of saturation, the average pressure in the air-water mixture (Pande and Pietruszczak, 2008 [1]):

$$p = S_r p_w + (1 - S_r) p_a - \frac{\sqrt{1 - S_r}}{\rho_v} T \quad (1)$$

where S_r is the degree of saturation, p_w/p_a is the excess pore water/air pressure and T is surface tension. The constitutive model for the unsaturated soils with low degrees of saturation:

$$p_a - p_w = \frac{T}{(1 - S_r) \rho_v} \quad (2)$$

where ρ_v is average pore size. The aim of the paper is to assess average pore size – including density – information from the grading curve.

2. Derivation of mean pore parameter from the grading curve

The surface area per volume for a single sphere:

$$D/V = 6/d \quad (3)$$

Using this, the surface area of fraction i :

$$A_i = \frac{6V_i}{d_i} = \frac{6}{d_i} x_i V_s \quad (4)$$

where A_i and V_i are the surface area and the dry volume of fraction i , d_i is the mean diameter of fraction i and V_s is the total dry volume of all fractions or volume of solid phase, x_i is the relative frequency of the fraction i . The surface area of all fractions:

$$S = 6V_s \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{d_i} \quad (5)$$

where S is the surface area of the solid phase (of all fractions), V_s is the volume of the solid phase (of all fractions), N is the fraction number. (Ordinates of the distribution of the surface area of a fraction are A_i/S). The d_h is the harmonic mean diameter, can be calculated as follows:

$$d_h = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{d_i}} \quad (6)$$

The harmonic mean, d_h is a kind of equivalent grain diameter. It can be seen from Eq 5 that the solid volume /solid surface ratio for the solid phase as a whole is $d_h/6$.

The mean pore diameter is defined ([2]) as the V_v volume of voids in solid phase over the S_{sA} surface area of pores in the solid phase:

$$\rho_v = \frac{V_v}{S_{sA}} = \frac{V - V_s}{6V_s \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{d_i}} = \frac{1}{6} \frac{e}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{d_i}} = \frac{e}{6} d_h \quad (7)$$

where S_{sA} is the surface area of pores in the solid phase (of all fractions), being equal to the S surface area of grains, V_v is the volume of voids in the solid phase, and e is the void ratio, $e = V_v/V_s$, V_s volume of the solid phase, V volume of soil.

To illustrate the difference with the specific surface area per soil volume S_{sm} (which is the ratio of total surface area (m^2) to the soil volume V (m^3), with units of m^{-1}), the following formula can be derived for the specific surface area per volume:

$$S_{sm} = \frac{6}{d_h(1 + e)} \quad (8)$$

3. Minimum dry density (maximum dry void ratio) in the function of the grading curve

The grading entropy method ([3]) was applied together with advanced interpolation methods to establish empirical relationships between grading entropy coordinates and minimum dry density of sands. The databases of Lőrincz 1986 ([4]) consisting of 65 samples of artificial mixtures of natural sands with fractal or continuous grain size distributions were used to evaluate a linear empirical

relationship. The results showed that there is a strong relationship between grading entropy coordinates and the minimum solid volume ratio or maximum void ratio:

$$s_{\min} = C_1(S_0) + C_2(\Delta S) + C_3 \text{ or } s_{\min} = C_1(S_0) + C_2(\Delta S) + C_3 \quad (9a,b)$$

4. Discussion, conclusion

To illustrate the usefulness of Eq 9 and chart it is shown that it can be used for estimating the suction of sands from the grading curve, the relative density and the degree of saturation. Combining Eqs 2 and 7:

$$p_a - p_w = \frac{6T}{(1 - S_r)ed_h} \quad (10)$$

The experimental works by Kabai (1968, 1972, 1974) ([6 to 8]) in relation to the dry density of sands from the Danube river concluded that the ratio of the minimum to the maximum dry density was basically constant, although it decreased as the soil became slightly plastic.

Equation (9) or its graphical representations in Figures 1 and 2 can be used for estimating the maximum void ratio. It follows that from this, the minimum void ratio can be computed with the Kabai’s constant, and from the relative density, the actual void ratio can be determined.

In conclusion, Eqs 9, 10 can be used for estimating the suction of sands from the grading curve, the relative density, the degree of saturation.

Table 1 Coefficients identified by LS method

Equation, Variable	C ₁	C ₂	C ₃	r ²
Eq 9a, s	0,02	0,03	0,23	0.96
Eq 9b, e	-0,06	0,10	1,89	0.96

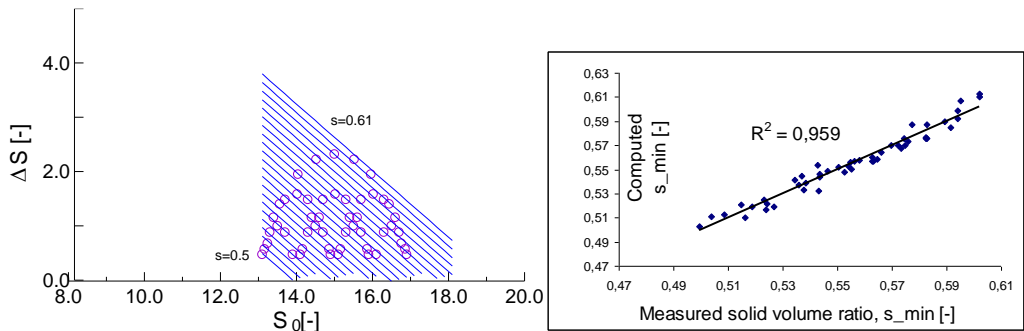


Figure 1. Lőrincz data (a) lines of equal minimum dry density (s_{min}) according to Eq (9a) shown with gradings of experiments using on the non-normalised entropy diagram, (b) the representation of the measured and fitted data for Eq (9a) ([5]).

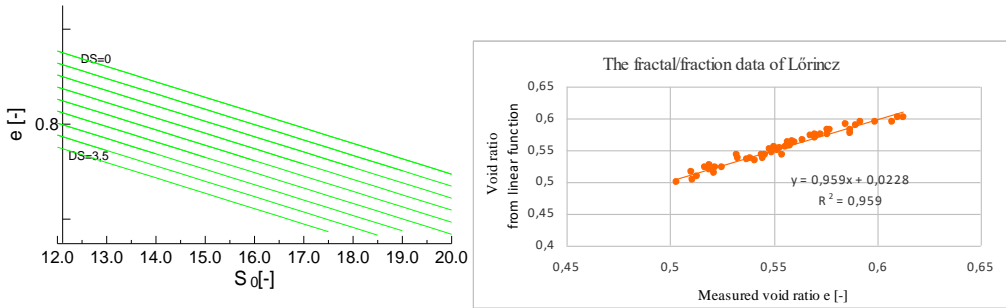


Figure 2. Lőrincz data (a) lines of equal ΔS in the maximum void ratio-base entropy coordinate system, according to Eq (9b) , (b) the representation of the measured and fitted data for Eq (9b).

5. References

- [1] Pande, G. N, & Pietruszczak, S 2008. Assessment of Risk of Liquefaction in Granular Materials and It's Mitigation. Proc 12th IACMAG. 2619-2626.
- [2] Imre E Lőrincz J Hazay M Juhász M Rajkai K Schanz T Lins Y Singh V P Hortobagyi Zs Sand mixture density In: UNSAT2014. Sydney Australia , 2014.07.02 - 07.04. pp. 691-697.
- [3] Lőrincz J, Imre E, Gálos M, Trang Q.P, Telekes G, Rajkai K, Fityus I. 2005 Grading entropy variation due to soil crushing. Int. Journ. of Geomech. Vol 5. Number 4. p. 311-320
- [4] Lőrincz, J 1986. Grading entropy of soils. Doctoral Thesis, Technical Sciences, TU of Budapest in Hungarian.
- [5] E. Imre, D. Barreto, M. Datcheva, V. P. Singh, W. Baille, S. Feng, S. Firgi, Minimum dry density in terms of grading entropy coordinates, (17ARC 2023 accepted)
- [6] Kabai, I. (1968). The compactibility of sands and sandy gravels. Acta Technica Acad. Sci. Hung., 113-124.
- [7] Kabai, I. (1972). Relationship between the grading curve and the compactibility. University doctoral thesis TU of Budapest, Hungary (in Hungarian).
- [8] Kabai, I. (1974). The effect of grading on the compactibility of coarse grained soils. Periodica Polytechnica.18 (4) 255-275.



Breakage rate measuring – a rock classification alternative?

¹Emőke Imre, ³Phong Q. Trang, ³János Lőrincz, ⁴Kárpáti László, ⁴Miklós Gálos, ⁵Daniel Barreto

¹ Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering,

² Hydro-Bio-Mechanical Systems Research Center, Budapest, Hungary, e-mail: imre.emoke@uni-obuda.hu

³BME, Budapest, Hungary,

⁴Szilikátipari Tudományos Egyesület Kő és Kavics Szakosztály

⁵Edinburgh Napier University, United Kingdom. imre.emoke@uni-obuda.hu

Abstract

A new method was proposed to characterize the strength properties of rocks. A crushing test was performed on sand-pairs with different parent rocks, using identical initial gradings. The data were analysed using the grading entropy theory, the grading curve variation was represented in the grading entropy diagram (with a coordinate uniquely related to the mean log diameter). The results with various rocks with the same conditions indicated the same entropy path, only the speed was different, indicating the possibility of a new testing method. As a by-product of the result, it is shown that the breakage path and the internal stability of soils seem to be linked giving the explanation why fractal distribution with fractal dimension $n < 3$ is so frequent in nature.

Keywords: breakage, fractal, grading entropy, entropy principle

1. Introduction

The aim of the research is to study the breakage and degradation process in rocks. Based on this study, a new method to characterize the rock material properties in terms of degradation and/or fragmentation is proposed. In order to achieve this, a crushing test is combined with the grading entropy theory to describe the path and the rate of breakage in terms of grading curve (i.e. particle size distribution).

Similar paths and fractal dimensions occur in the nature [1] as in the laboratory tests. The breakage path is independent of the rock material and its rate is dependent on the material only. The linear part of path being completed by a theoretically computed starting point is proved to be a possible way for breakage rate characterization.

The paper starts by introducing the concepts of grading entropy [2 to 4], entropy coordinates and optimal (or fractal) grading curves. Subsequently, the (discontinuity of the) breakage path and a criterion for internal stability based on grading entropy concepts are presented.

These concepts enable presenting and analyzing some experimental breakage tests using an entropy diagram. It is found that the path may contain an initial discontinuity in the normalized diagram, a linear part and, a curved part where all distributions are fractal [1] with increasing fractal dimensions reaching a value of 3. The latter is the direct consequence of the entropy principle [3]. The samples are “young mixtures” where most grains are larger than the comminution limit ([5]).

2. Grading entropy

The grading curve is the distribution of the log diameter of the grains d by dry weight. In the grading curve measurement the sieve sizes, and as a result, the fraction limits are doubled. An abstract fraction system is defined as follows. The diameter range for fraction j ($j=1, 2, \dots, j$ see Table 1, Lőrincz (1986)) are defined by using the integer powers of the number 2 (Imre et al., 2009).

$$2^j d_0 \geq d > 2^{j-1} d_0, \quad (1)$$

where d_0 is the smallest diameter which may be equal to the height of the SiO₄ tetrahedron (2²² mm). The log₂ of the diameter limits are integers, called abstract diameters. The relative frequencies of the fractions x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) for each grading curve fulfil the following equation:

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1, x_i \geq 0, N \geq 1 \quad (2)$$

where the integer variable N – the number of the fractions between the finest and coarsest non-zero fractions – is used. The relative frequencies x_i can be identified with the barycentre coordinates of the points of an $N-1$ dimensional, closed simplex (which is the $N-1$ dimensional analogy of the triangle or tetrahedron, the 2 and 3 dimensional instances) and, the space of the grading curves with N fractions can be identified with the $N-1$ dimensional, closed simplex. The vertices of the simplex represent the fractions, and the 2 dimensional edges are related to the two-mixtures etc. The sub-simplexes of a simplex are partly continuous, and partly gap-graded. The continuous sub-simplexes have a lattice structure, as illustrated in Fig 1.

The grading entropy S is a statistical entropy, modified for the unequal cells (fractions are doubled, Lőrincz (1986)). It can be separated into the sum of two parts. The grading entropy S :

$$S = S_0 + \Delta S \quad (3)$$

where S_0 is called the base entropy and ΔS the entropy increment. The coordinates:

$$S_0 = \sum x_i S_{0i}, A = \frac{S_0 - S_{0min}}{S_{0max} - S_{0min}}, B = \frac{\Delta S}{\ln N}, \Delta S = -\frac{1}{\ln 2} \sum x_i \ln x_i \quad (4)$$

where S_{0i} is the grading entropy of the i -th fraction, being identical to the fraction serial number (Table 1). The normalized or relative base entropy is A , where S_{0max} and S_{0min} are the entropies of the largest and the smallest fractions, resp. The entropy increment is ΔS normalized form: B .

Table 1. Definition of fractions

j	1	23	24
Limits	d_0 to $2 d_0$	$2^{22} d_0$ to $2^{23} d_0$	$2^{23} d_0$ to $2^{24} d_0$
S_{0j} [-]	1	23	24

Any grading curve can be represented as a single coordinate pair in terms of the entropy coordinates. Four maps can be defined between the $N-1$ dimensional, open simplex (fixed N) and the two dimensional real Euclidean space of the entropy coordinates, the non-normalized $[S0, \Delta S]$, normalized $\Delta \rightarrow [A, B]$, and partly normalized $\Delta \rightarrow [A, \Delta S]$ or $[S0, B]$.

The images – the entropy diagrams – are compact, like the simplex (Figs 1, 2). The inverse image of the regular values is similar to an $N-3$ dimensional sphere, “centered” to the optimal point ([4]). The inverse image of the maximum normalized entropy increment lines B is the optimal line. The value of d_{min} is indifferent for the normalized diagram, eg., all fractions map into $A = 1$.

The optimal grading curve or simplex point with maximal B for a specified A is as follows. The entropy increment B is strictly concave function, with a unique conditional maximum point for each constant value of A . This single optimal point or unique optimal grading curve is defined as follows: The optimal - grading curve or point of the simplex maps at fixed A on the maximum B :

$$x_1 = \frac{1}{\sum_{j=1}^N a^{j-1}} = \frac{1-a}{1-a^N}, \quad x_j = x_1 a^{j-1} \quad (5)$$

where parameter a is the root of the following equation :

$$y = \sum_{j=1}^N a^{j-1} [j-1 - A(N-1)] = 0. \quad (6)$$

The single positive root a varies continuously between 0 and ∞ as A varies between 0 and 1, $a=1$ at the symmetry point ($A=0.5$) and $a>1$ on the $A>0.5$ side of the diagram (Imre-Talata (2017)). The relation with fractal dimension:

$$F(d) = \frac{d^{(3-n)} - d_{\min}^{(3-n)}}{d_{\max}^{(3-n)} - d_{\min}^{(3-n)}}, \quad n = 3 - \frac{\log a}{\log 2} \quad (7)$$

where d is particle diameter, n is fractal dimension (Fig. 3 [4]).

Hence, the optimal grading curves have finite fractal distribution, the fractal dimension n varies between 3 and $-\infty$ on the $A>0.5$ side as a varies between 1 and ∞ , n varies between 3 and $-\infty$ on the $A<0.5$ (left) side of the maximum normalized entropy increment line, as a varies between 1 and 0. The optimal grading curve is concave if $A<0.5$, linear if $A = 0.5$, convex if $A > 0.5$ (Fig 4). Some domains and points of the entropy diagrams were successfully related to internal or grain structure stability on the basis of vertical water flow tests by Lőrincz (2). On the basis of the suffusion test results, three basic types of soil structures were related to three domains of the normalized entropy diagram (Fig 4).

In Zone I ($A < 2/3$) no structure of the large grains is present, the coarse particles “float” in the matrix of the fines and become destabilized when the fines are removed by piping. In Zone II, the coarse particles start to form a stable skeleton and total erosion cannot occur. In Zone III, the structure of larger particles is inherently stable (i.e. most large particles are likely to be members of ‘strong’ force chains commonly observed on numerical DEM simulations).

Although the fractal dimension n may vary from minus to plus infinity as the relative base

entropy A (normalized mean log scale diameter) varies between 0 and 1, in the function of N , only a few of them are stable. The fractal distribution is stable if $n < 2$ (independently of N and A).

Let us assume that the grading curve “continuously” varies due to breakage. If N varies, the non-normalized entropy path of the grading curve in terms of $[S_0, \Delta S]$ is continuous. However, the normalized entropy path of the grading curve in terms of $[A, B]$ is not continuous. Some formulae can be derived for the discontinuity. If some i zero fractions are added from smaller side:

$$B(N) - B(N+i) = \Delta S(N) \frac{1 - \frac{\ln N}{\ln(N+i)}}{\ln N}, \quad A(N+i) - A(N) = \frac{i[1 - A(N)]}{N+i-1} \quad (8)$$

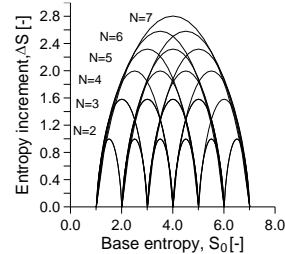
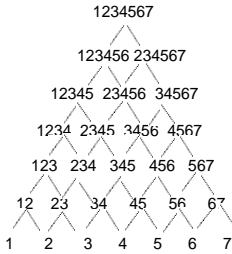


Figure 1. Lattice of continuous sub-simplexes (integers: fractions).

Figure 2. Simplex with $N=7$ optimal lines of continuous sub-simplexes in the non-normalised entropy diagram.

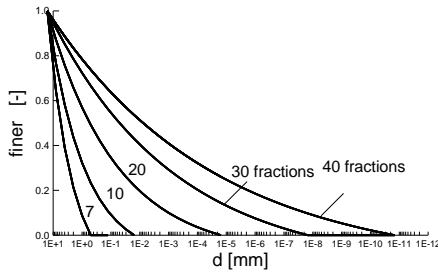


Figure 3. The optimal grading curves N varies, $A=2/3$.

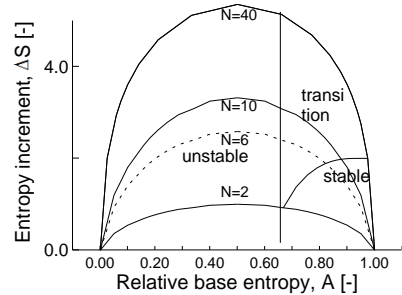


Figure 4. Internal stability criterion of Lőrincz (1986) in the partly normalized diagram.



Figure 5. Reinforced crushing pot designed by Lőrincz [3]

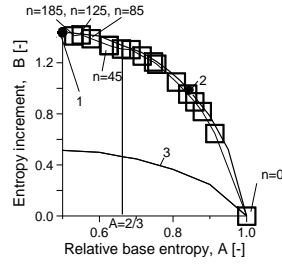


Figure 6. **Normalised** entropy path of a one-fraction soil. *n*: serial number of the crushing. 1: maximum *B* point. 2: maximum *S* point. 3: minimum *B* line [3]

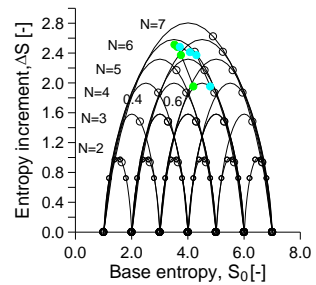
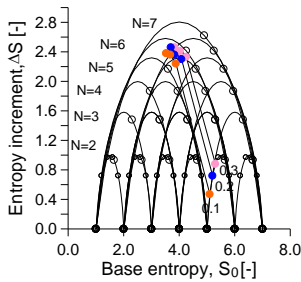


Figure 7. Non-normalized entropy path for initially $N = 2$, Silica and carbonate soils, change in $S_0 \sim 0,6$ and $\sim 1,5$; change in $\Delta S \sim 0,7$ and $\sim 1,8$, resp.

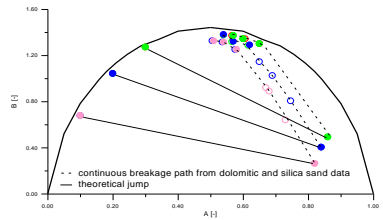
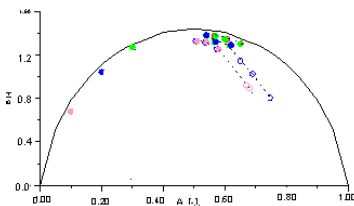


Figure 8. Normalized entropy path for initially $N = 2$, Silica and carbonate soils. Measured data and computed discontinuity (Eq 8) in the normalised diagram (see Figs 4, 6).

3. Experiments

A specially reinforced crushing pot made at BME’s Geotechnical Department was used). Each treatment involved the application of a compressive load of 25,000 N to the sample contained in the crushing pot, using a loading machine at the Department of Construction Materials and Engineering Geology, BME. After the compression of the sample, it was removed from the crushing pot for grading curve measurement and then was returned back into the pot for further successive crushing. The results with initially 1-fraction soil shown in Fig 6, 2-fraction of silica and carbonate sands from the same initial grading and testing conditions are shown in Figs 7, 8.

4. Discussion

The base entropy S_0 is a weighted mean of the fraction serial number (which depends linearly on the mean \log_2 diameter d). It is monotonically decreasing during breakage since particles become smaller.

The entropy increment ΔS is an entropy mean, a measure how much the soil behavior is really influenced by all of its N fractions. It is monotonically increasing during to breakage due to the entropy principle. The tests followed the same entropy paths, the rate of crushing was different.

The relative base entropy parameter A has a potential to be a grain structure measure of stability, possibly based on the simple physical fact that it expresses the ratio of the larger grains. If enough large grains are present in a mixture then these will form a skeleton (i.e. be part of a strong force chain). In case of an initially two-fraction soil, a discontinuity appears at the start of the normalized path at the appearance of finer fractions, which drifts the entropy path into the stable part of the diagram with great A values (Fig. 8). This explains how internally stable mixtures may form. After the jump, an opposite entropy path occurred (A decreased, B increased) until the maximum entropy increment line was reached, where every distribution is fractal.

5. Conclusion

The results of breakage tests with silica and carbonate sands, from the same initial grading and testing conditions followed the same entropy paths, only the rate of breakage was different. Starting from the same initial grading, the rate of the breakage paths seem to be unique for a given test. The base entropy S_0 reflects the decrease in the mean diameter. The ΔS entropy increment increases likely due to the entropy principle. Both can be related to the rock type and quality.

A new laboratory rock qualification test is proposed on the basis of the result of this study. A few recommendations are however necessary. For example, the precise grading curve data are essential in computing the entropy path. Further research is suggested on the breakage rate definition, trying out different testing modes and some additional rock materials, on the comparison with standard rock tests.

6. References

- [1] Kun F, 2017. Breakage of particles, Session introduction. P&G Conference, Montpellier, 2017 July.
- [2] Lőrincz J 1986 Grading entropy of soils Doctoral Thesis, Technical Sciences, TU of Budapest (in Hungarian).
- [3] Lőrincz J, Imre E, Gálos M, Trang Q.P, Telekes G, Rajkai K, Fityus I. 2005 Grading entropy variation due to soil crushing. Int. Journ. of Geomechanics. Vol 5. Number 4. p. 311-320
- [4] Imre E, Talata I. 2017 Some comments on fractal distribution. MAFIOK 2017. 22-32.
- [5] Kendall, K. 1978. The impossibility of comminuting small particles by compression. Nature Vol 272. p. 710-711.



Some comments on the oedometric relaxation test

¹Emőke Imre

1 Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, and Hydro-Bio-Mechanical Systems Research Center, Budapest, Hungary, e-mail: imre.emoke@uni-obuda.hu

Abstract

Hydraulic fracturing occurs on the condition that the tensile strength of the particle contacts is equal to the absolute value of the negative effective stress. The measurement of the tensile strength of the particle contact is not easy. This paper discusses the Multistage Oedometric Relaxation Test (MRT). Analysis of test results shows that MRT can be a candidate test for the aforementioned measurement.

Keywords: soil mechanics, oedometer, relaxation

1. Introduction

The oedometric relaxation test is a type of one dimensional oedometric compression test. The test is generally used for the determination of the compression curve, the coefficient of consolidation and the permeability. In the oedometric relaxation test (ORT) (1 to 8) the pore water pressure and the total stress are measured under a constant displacement load. But ORT has not been applied in a multistage form. Therefore, the objective of this study was to perform multistage oedometric relaxation tests (MRT) on various soils, compare the test results with the multistage oedometric compression test (MCT) data, discuss and validate a model and a method of evaluation. As a by-product of the study, a specific use of the test was found which is presented after a short summary of modeling and laboratory testing.

2. Modelling

A joined model was suggested for the evaluation of a stage of the relaxation test. The model consists of a linear coupled consolidation part-model and, an empirical relaxation part-model. Only the consolidation part-model is considered which has two initial conditions with zero solution (the uniform non-zero function and the identically zero function). It follows that the load imposition cannot be instantaneous and, the initial condition has to be identified.

The effective stress σ' depends on the final total stress, the difference between the pore water pressure u and its mean for a given time t :

$$\sigma(t) = \frac{E_{oed} v_0}{H} + u_{mean}(t) - u(t, y) \quad (1)$$

where the final total stress (and the mean effective stress, being the volume is constant) and

$$\sigma_{\infty} = \frac{E_{oed} v_0}{H} \quad (2)$$

depends on the displacement boundary condition v_0 and on the constitutive law which is dependent on the load history. The total stress σ :

$$\sigma(t) = \frac{E_{oed} v_0}{H} + u_{mean}(t) \quad (3)$$

The effective stress is maximal at the sample top ($y=0$, where σ' decreases with time t), minimal at the sample bottom ($y=H$, where σ' increases with time t) of the single-drained sample as the pore water pressure u dissipates for a given time t (Fig 1). The effective stress values can be shifted by the partial unloading when the pore water pressure is unchanged for plastic clays but the compression curve point changes, which may cause negative effective stress at the sample bottom, as it is shown in the following Section (see Fig 2).

Table 1. Physical parameters of plastic soils (Szeged city, Szolnok city and a bentonite)

Soil	0	1	2	3	4	5	6	7	8
I_p [%]	10	17	22,8	29,9	31,7	37	37,8	41	62,8
w_L [%]	32,4	41,7	57,9	63	56,1	64,1	63,6	72	118,7
OCR	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	3,6	1,05	1,05	4,35

3. Laboratory testing

For the test the single-drained Geonor type swelling pressure apparatus h-200A was used. In the short multistage oedometric test procedure the load imposition is fast but not instantenous. The stages are generally 10 - 20 minutes long (i.e. being interrupted before the t_{99} dissipation time) except the last one being longer than the t_{99} dissipation time.

The load imposition was made with a constant mechanical power gear, resulting in a a strain rate of 0.002 to 0.08 %/s, which was larger than the upper validity limit of the Leroueil's 7 time dependent constitutive relation (0.001 %/s).

This procedure is similar to the CRS tests, except the larger loading rate and the stages which allow the determination of the relaxation soil properties as well. More than 30 soils of various plasticity were tested with the quick MRT and standard MCT procedure. The major part of the samples was saturated intact clay. A silt and some sands were also tested (Table 1). The results are shown in Figures 2 to 4.

4. Results

4.1 Measured data

According to the results, at the start of the stages, after a time delay, a fast immediate stress drop occurred. During this stress drop partial unloading took place since the control was too slow. The displacement loading became non-monotonic, a temporary reversal occurred. Then, in the actual relaxation stage, in the so called ‘time dependent relaxation period’, the stresses and displacement were measured for model fitting or evaluation.

In detail, in the case of fast load imposition the time delay this is just a few seconds and is frequently overlooked. In our case the value of the measured time delay – within 1 sec for intact clays - was in accordance with the prediction of the existing empirical equation. The nearly instantaneous dissipation at the start of the relaxation tests (‘immediate stress drop’) can primarily be related to a property of the solution of the consolidation model. As a consequence of the non-trivial zero solution at the usual Terzaghi’s uniform initial condition, the dissipation becomes extremely fast due to the near uniform initial condition (4). During time dependent relaxation, the effective stress at the impermeable boundary depends on the soil type (it increases/decreases in low/large plasticity soils at the start of the stage).

4.2 Model fitting

According to Figure 5, the data measured during time dependent relaxation, and simulated data showed good agreement.

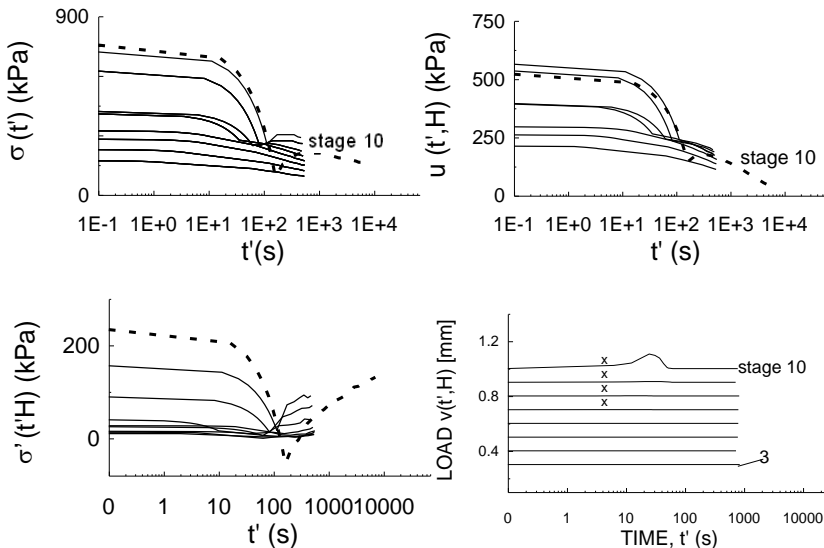


Figure 1. Measured MRT data for soil 4. In the case the last stage a large partial unloading was caused intentionally inducing local negative effective stress. (a) Total stress. (b) Pore water pressure. (c) Effective stress. (d) Displacement. (Note the initial fast stress drop, the partial unloading is indicated by x)

5. Partial unloading and compression curve

The control system of the Geonor type swelling pressure apparatus h-200A is working through load reversal which may have special effects for soils. If total stress drop occurs at the start of the test this may cause partial unloading. If the side friction is large then the load reversal may have a significant effect.

The partial unloading during the stress drop had a very slight impact in the case of intact, plastic clays, the MRT and MCT compression curves agree possibly due to the fact that the bonds were cohesive with some tensile strength. For sample 4, last stage (Figs 2) the large partial unloading was intentional and negative effective stresses were recorded at the sample bottom. There was no hydraulic fracturing since the soil had some tensile strength. The effect of the partial unloading was more pronounced for small plasticity soils (e.g., soils 0 and 1, Fig 4) where the MRT compression curve deviated from the usual compression curve considerably.

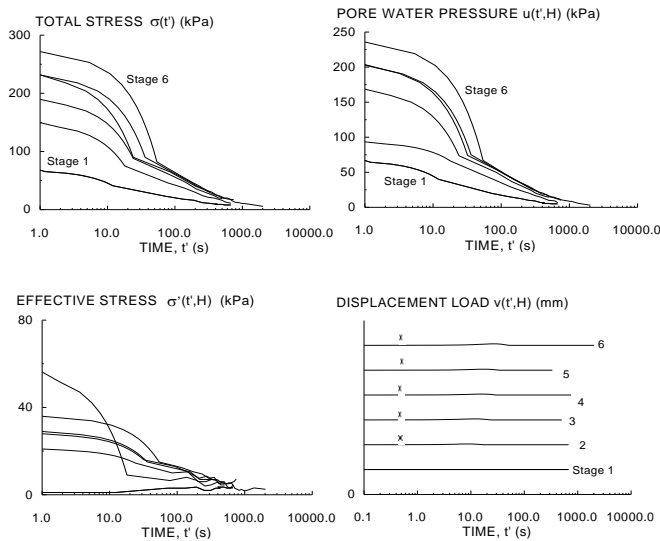


Figure 2. Measured MRT data for soil 0. (a) Total stress. (b) Pore water pressure. (c) Effective stress. (d) Displacement. (The partial unloading is indicated by x)

6. Discussion

In the model of the oedometric relaxation test the final total stress under the given displacement load is not unique, depends on the load history. The transient component of the total stress is equal to the mean pore water pressure. In the oedometric relaxation tests reported here the control system caused a slight partial unloading on most of the saturated clay samples at the start of the stage which did not influence the MRT compression curve for intact plastic clays and caused an increasing deviation from the usual compression curve for clays with $I_p < 20\%$. This can probably partly be explained by a micromechanical model (8 Luding, 2012) since the contact force –displacement curve has a varying secant modulus for cohesive particles, and, a tiny load cycle may be fully reversible. When a large partial unloading was intentionally caused during the MRT then this did not influence the

pore water pressure, but reduced the total and effective stress

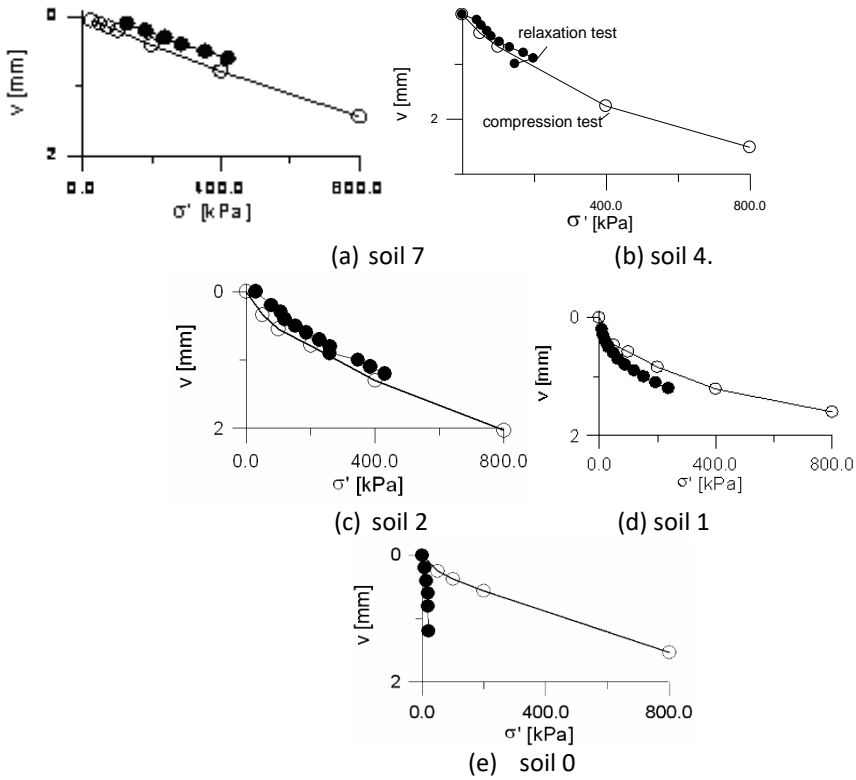


Figure 3. The measured short MRT compression curves (full circles) and standard MCT

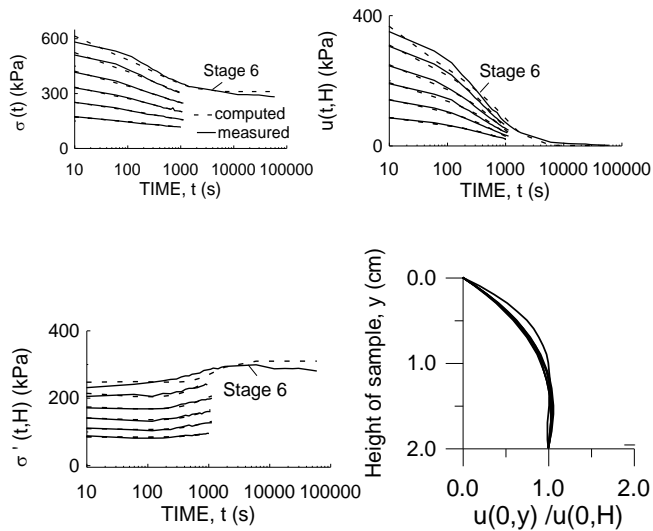


Figure 4. MRT, simulated (model ECRT) and measured stresses, sample 6 (a) Total stress. (b) Pore water pressure. (c) Effective stress. (d) Identified initial condition.

7. Conclusion

The dynamic-static transition may cause a slight partial unloading in the test load and the MRT compression curve point can be changed. In case of soft, plastic soils with some tensile strength the change is reversible (in accordance to [8]). In case of less plastic soils it is increasingly irreversible, the compression curve point is drifted away on the unloading curve. For some soils with more frictional or breaking bonds the difference is larger. The size of the deviation may indicate the nature of the bonds and some special engineering geological features, like salinity of the soils, the test have not been completely been discovered from this aspect.

In extreme case, hydraulic fracturing may occur in the sample, or even negative effective stress can be induced locally at the bottom of the sample either by applying an intentional, large partial unloading in the displacement load (or by increasing the pore water pressure here). This follows from the facts that the total stress (1) can be decreased even to zero by partial unloading but (2) the pore water pressure is practically unchanged at the bottom since the soil can not be drained so fast, (3) as a result, the difference may become highly negative.

8. References

- [1] Abeljev, M. Y.; Kubetski, V. L.; Tsoi, A. V., Meschyan, S. R. (1981). Investigation of Soils Creep. Proc. of the 10th ISSMFE. Stockholm, Vol.1., pp. 523-526.
- [2] Imre, E. (1990). Multistage oedometric relaxation test. Proc. of the 9th Nat. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Cracow, 1990. Vol. 1. 171-179.
- [3] Imre, E. (1998). Evaluation of quick multistage oedometric relaxation tests. Proc. of the XIth Danube-European Conference on SMGE, Porec. 695-702.
- [4] Imre E. and Fityus S. (2011) Some Consequences of the Qualitative Analysis of the Point-Symmetric Coupled Consolidation Models. Proc IV Coupled Problems. 20-22 June Kos Island Greece. 1-12.
- [5] Imre, E ; Schanz, T ; Hortobágyi, ZS ; Singh, VP ; Fityus, S Oedometer relaxation test In: Proc. Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development : XVI ECSMGE UK: ICE Publishing (2015) 4,800 p. pp. 3347-3352. , 6 p.
- [6] Imre, Emőke ; Singh, V. P ; Juhász, M ; Lazanyi, I Evaluation method for the conventional oedometer test. In: Haraldur, Sigursteinsson; Sigur.ur, Erlingsson; Bjarni, Bessason (szerk.) XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - Reykjavík, Iceland : 1–6 of September 2019 : Geotechnical Engineering, foundation of the future : Conference proceedings Reykjavík, Izland : Icelandic Geotechnical Society (IGS) (2019) pp. 1003-1010. Paper: 167797 , 8 p.
- [7] Leroueil, S.; Kabbaj, M.; Tavenas, F.; Bouchard, R. (1985). Stress-strain rate relations for the compressibility of sensitive natural clays. Geotechnique, Vol.35., No.2. 159-175.
- [8] Luding, S. (2012) From Granular Dynamics to Continuum Mechanics. Keynote Lecture-International Symposium on Discrete Element Modelling of Particulate Media. In celebration of the 70th Birthday of Colin Thornton. The University of Birmingham 29-30 March, 2012.



Soil profiling from rheological CPT data

^{1,2,3} Emőke Imre

¹ Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering,

² Óbuda University, Hydro-Bio-Mechanical Systems Research Center, imre.emoke@uni-obuda.hu

³ Óbuda University, AIAM Doctoral School, Budapest, Hungary

Abstract

First results of a research are presented indicating that the simple rheological type cone penetration tests can be used for soil profiling. This test can be performed simultaneously with the pore water pressure dissipation test, one more measuring channel is needed.

Keywords: dissipation test, cone penetration test, soil profiling

1. Introduction

The aim of the research is to get more information from the dissipation tests by using mathematically precise evaluation methods. The in situ dissipation tests (except the pore water pressure dissipation test) are not used in the lack of proper evaluation methods (Table 1).

1.1 Types of dissipation tests

The CPT can be used in a logging and a rheological testing mode. Short dissipation tests were made at the technical stops of the steady penetration in the case of the CPT Sz832 equipment. In these stops the time variation of the local side friction and the cone resistance was recorded for a few seconds – minutes. Recently, the dissipation is measured by the MEDUSA DMTA at the technical pause between the stop of the steady penetration and the “standard A reading” up to 30 s elapsed time, where the time variation of the A reading is recorded in the first 30 seconds.

Table 1. Types of dissipation tests made with in situ equipment, only the pore water pressure test of dissipation tests are evaluated in the practice.

Measured variable	Notation	Name
Pore water pressure	CPT _u <i>u₂ u₃ etc.</i>	pore water pressure dissipation
Total stress *and pore water pressure	PSL* DMTA DMTC	piezo-lateral stress dissipation A-dissipation C-dissipation
Shaft <i>f_s</i> and tip resistance <i>q_c</i>	CPT <i>f_s</i> CPT <i>q_c</i>	simple <i>f_s</i> dissipation simple <i>q_c</i> test

1.2 Goal of paper

This research was initiated by the facts that the total stress, shaft and tip resistance dissipation tests made by the cone penetration tests (Table 1) can not be evaluated and properly used. In this work the short dissipation tests made at the technical stops of the steady penetration with the CPT Sz832 equipment was analyzed. A radial consolidation model was used to explain the results (see Fig. 1.)

Table 2. Plasticity and void ratio soil parameters of the layers

	I_p [%]	e [-]
Mo	7.4	0.68
Medium clay	20.	0.76
Fat clay	36.3	0.85

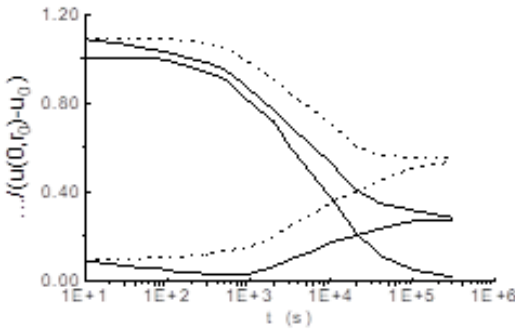


Figure 1. The solution of the joined model (solid lines) and the coupled consolidation model (dashed lines) [3, 4]

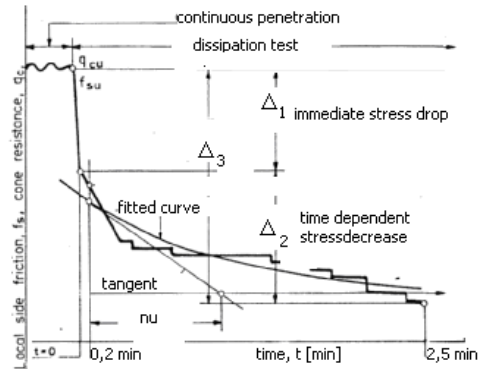


Figure 2. S832 CPT short f_s and q_c dissipation tests, analogue outputs with empirical parameters (from Imre, 1995 [1])

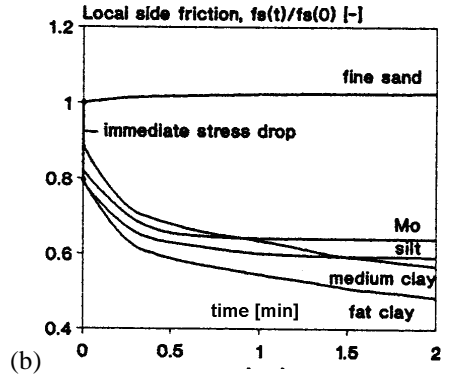
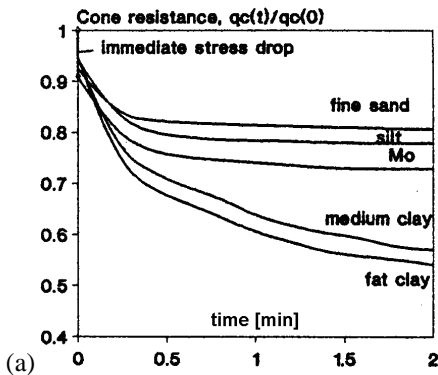


Figure 3. Soil group mean curves in terms of time with approximate time scale [3]. (a) Measured mean q_c -time relations (b) Measured mean f_s -time relations. Note the qualitatively different response for sandy and clayey soils.

2. Empirical modeling

2.1 Typical features of mean dissipation curves

A short dissipation test can be performed with the S832 equipment in every 50 cm. This is done in such a way that the steady penetration is stopped due to technical reason, so that the rod is released then re-clamped. During this the local side friction f_s and the cone resistance q_c are continued to be measured. Figure 1 shows the typical S832 CPT short dissipation output which is an analogue record with saw-tooth-like features for both the short f_s and q_c dissipation tests (Imre, 1995, [1]).

The short dissipation output typically consisted of an immediate stress drop and a time dependent stress decrease period. According to our interpretation, this is due to the dynamic – static transition. There is a so called dynamic amplification factor expressing the ratio of the dynamic / static load, the load decreases if loading changes from dynamic to static, different during steady penetration and when penetration stops (Németh-Kocsis, 2013, [2]).

A total of 135 rheological type cone penetration test records associated with the ten boreholes, selected from the data bank of the Geodesical and Geotechnical Institute FTV, were evaluated such that dissipation test groups of soil groups were defined from plasticity index I_p .

The mean dissipation tests of soil groups indicated that the time variation of the local side friction short dissipation curves initially showed an immediate stress drop, then the shaft resistance decreased or increased during the time dependent dissipation period in the first minute for plastic or granular soils, respectively. The mean dissipation tests indicated that the time variation of the cone resistance short dissipation curves showed a time dependency which was controlled by the soil plasticity in intact layers. These results can be used for soil identification (Figs. 2, 3, [1]).

2.2 Empirical parameters

The immediate stress drop Δ_1 was generally left out in the empirical evaluation, the time dependent stress decrease period was characterized by two parameters, the time dependent stress drop Δ_2 and the initial stress variation rate parameter ν . These empirical parameters are used for the characterization of the simple rheological-type cone penetration test records (Imre 1995). One is the cone resistance parameter Δq_{c2} and, local side friction sounding parameter Δf_{s2} (Fig 1) given by :

$$\Delta q_{c2} = q_c(t_i) - q_c(t_i + \Delta t); \text{ and } \Delta f_{s2} = f_s(t_i) - f_s(t_i + t_1); \quad (1)$$

where t_i is the time when the immediate stress drop is ended, and t_1 is a reference time.

An additional sounding parameter ν was defined by fitting the relaxation equation of the Poynting-Thomson model on the stress σ measured during the time dependent period (Fig. 1). The equation:

$$\sigma(t) = \sigma_\infty + (\sigma_0 - \sigma_\infty) e^{-\frac{t}{\nu}} \quad (2)$$

Factor analysis was made with the in situ and lab test data indicated strong correlations between the empirical parameters, permeability and plasticity index I_p , except at layer boundaries or in the case of secondary structure (if the permeability is larger than expected from soil type).

3. Modelling, parameter analysis

The foregoing results concerning the time dependent stress decrease period were explained by a parameter analysis made with the joined model shown in Figure 1 (ie., the superposition of a coupled consolidation model and an empirical relaxation model, Imre et al. 2010 [3]).

3.1 A coupled consolidation model

The system of equation of the consolidation part-model was developed on the basis of the field equations of the coupled consolidation Analytical solutions were made assuming new boundary conditions for the dissipation test problem [3]. The qualitative features of the analytical solution were determined by the initial condition for the pore water pressure, the total stress solution can be expressed in terms of the pore water pressure solution ([3]). For example, the transient part of the total / effective normal stress on the shaft expressed in terms of the pore water pressure and the space mean pore water pressure:

$$\sigma_r^t(t, r_0) = u_{mean}(t) \quad (3)$$

$$\sigma_r^t(t, r_0) = u_{mean}(t) - u(t, r_0) \quad (4)$$

In the modelling of the total stress changes at r_0 it is assumed that the constitutive equation is time dependent, and a relaxation part-model can be applied as follows:

$$\sigma_r(t, r_0) = \sigma_r^c(t, r_0) + \Delta\sigma_r^r(t, r_0) \quad (5)$$

where superscript c and r indicate consolidation and relaxation, respectively. It is assumed that the relaxation term can be described as follows:

$$\Delta\sigma_r^r(t, r_0) = -s \cdot \sigma(0, r_0) \cdot \log \frac{t}{t_1}; t > t_1 \quad (6)$$

where s is the coefficient of relaxation, and t_1 is the delay time. The radial total stress at r_0 decreases with time due to consolidation and also relaxation. The effective stress at r_0 increases due to consolidation and decreases due to relaxation, the net effect depends on the model parameters, the coefficient of consolidation (c) and the coefficient of relaxation (s) both depending on soil type.

3.2 Explaining the empirical parameters

radial effective stress response acting at the shaft-soil interface was simulated with the joined model in such a way that the values of the coefficient of consolidation (c_v) and the coefficient of relaxation (s) were varied ([4]). The time variation of the radial effective stress was a decrease or increase during the first minutes for plastic or granular soils, respectively. Similar to the shaft resistance during short dissipation, the simulated empirical parameters indicated the same dependence on the plasticity index I_p .

The simulated radial normal stress - time functions characterized with two parameters (Δf_{s2} , v) were defined similarly to the foregoing two sounding parameters (Δf_{s2} , v). Results are shown in Figures 6, 7. The relations concerning the simulated sounding parameters (Δf_{s2} , v) - coefficient consolidation (c_v) were compared with the relations concerning the empirical sounding parameters (Δf_{s2} , v) - plasticity index (I_p). In this way the correlation between sounding parameters and the plasticity index (I_p) shown in Figures 4 to 5 was explained theoretically.

4. Discussion, conclusion

A short dissipation test can be performed with the S832 equipment in every 50 cm. This is done in such a way that when the steady penetration is stopped, the rod is re-clamped, the local side friction f_s and the cone resistance q_c continue to be measured.

According to the results, the time variation of the short dissipation test can be used for soil type and layer boundary identification. The main tendencies were explained by a precise model. The new model allowed the development of evaluation methods [3 to 4].

Recently it was revealed that some similar short dissipation test can be made with DMTA ([5], see Figure 8), can also be explained. The total stress decrease/increase is explained by the dissipation of positive/negative initial excess pore water pressures (see Eq (3)) .

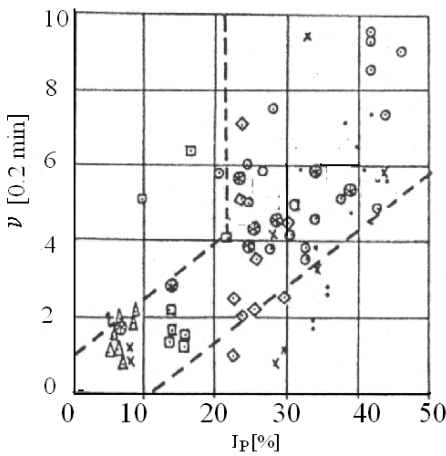


Figure 4. Empirical v - I_P relation – from measured q_c -time relations

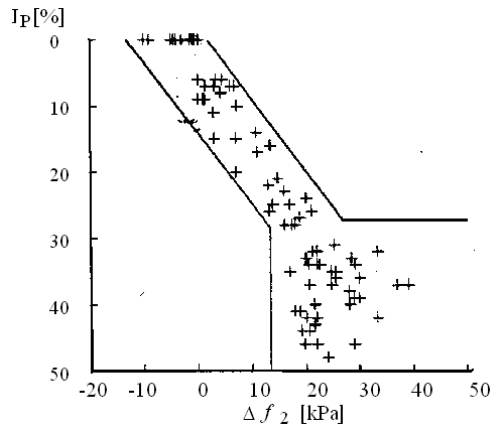


Figure 5. Empirical Δf_{s2} - I_P relation – from measured f_s -time relations

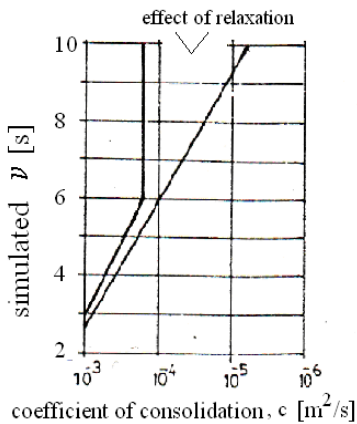


Figure 6. v - I_P relation determined from simulation.

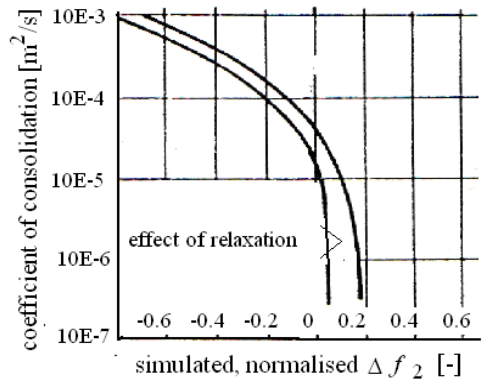


Figure 7. Δf_{s2} - I_P relation determined from simulation.

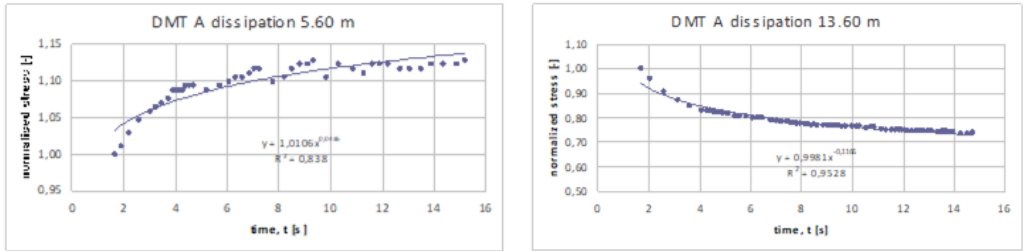


Figure 8. DMT A short dissipation test, (a) sand behaviour, (b) plastic soil behavior [6]

5. References

- [1] Imre, E. “Statistical evaluation of simple rheological CPT data”. *Proc. of XI. ECSMF*, 1995. 1. 155-161.
- [2] Németh, K. R. and Kocsis, A. 2013. The hidden beauty of structural dynamics. University Notes, BME, Budapest, https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/77/26/dd/1/notes_stdyn_v1p3_1.pdf ISBN 978-963-313-088-9
- [3] Imre, E., Rózsa, P., Bates, L., Fityus, S. 2010: “Evaluation of monotonic and non-monotonic dissipation tests.” *COGE*. 37: 885-904.
- [4] Imre, E / Óbuda University “CPTu dissipation test, Imre-Rózsa model, methods I and II”, [computer program] Available at: request.
- [5] Imre, E., Marchetti, D., Juhász, M. Bates, L., Fityus, “The short dissipation test” IS-Porto Proceedings, Porto, Sept. 3-6, 2023.



Examining online purchasing patterns through the utilization of a fuzzy inference system.

¹Anett Forgács, ²Judit Lukács, ²Lívía Mondics-Kurmay, ²Richárd Horváth

¹Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering. Óbuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences. Népszínház u. 8., 1081. Budapest, Hungary, e-mail: forgacs.anett@phd.uni-obuda

² Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering. Népszínház u. 8., 1081. Budapest, Hungary, e-mail: lukacs.judit@uni-obuda.hu, horvath.richard@uni-obuda.hu

Abstract

The last decade has seen an explosion in online shopping, and this trend is set to continue. Understanding consumer behavior and shopping habits is vital for online retailers, so we conducted our survey based on the Eurostat 2021 report and then created a fuzzy predictive model to analyze the results. The results can help retailers develop more effective marketing strategies, focusing on differences between age groups and geographical areas. The research provides deeper insights into consumer preferences by covering a broad spectrum of demographic characteristics. Our case study details the application of fuzzy inference, highlighting the complexity of customer preferences and helping retailers position themselves more effectively in the online marketplace and provide personalized services.

Keywords: online shopping, EuroStat, Fuzzy inference system, marketing, target group selection

1. Introduction

Online shopping has surged in the last decade and continues to grow globally. Shopping habits vary based on product preferences and spending behaviors [1]. Consumers appreciate the convenience of browsing, comparing prices, and making purchases from the comfort of their homes. Online shoppers also enjoy perks like diverse product availability, online payment options, and free delivery [2]. Customer decisions, challenging to predict mathematically due to algorithmic complexities and uncertainty, are addressed through biologically inspired methods like fuzzy systems, neural networks, and genetic algorithms. Fuzzy inference extends bivalent logic to multivalued logic, resembling human decision-making [3]. Ponsard [4] refuted classical assumptions about consumers' perfect distinctions between goods. Studies like Lo and Zakaria's electricity consumer classification [5] and Meier et al.'s fuzzy logic for customer loyalty mapping employ soft computing methods to explore diverse aspects of consumer behavior [6].

Marketing-oriented businesses focus on modeling consumer behavior to improve their visual information and support market decision-making processes [7]. Consumers play a vital role in the life cycle of products, as product design and the manufacturing process are strongly consumer centric. Several studies have shown that consumer behavior is significantly influenced by physiological, social, personal, and economic factors. These factors influence purchase intention, acceptance, and perception of the need for recognition [8][9][10].

2. The database and method

2.1 Creating an individual questionnaire

Analyzing product categories in online shopping habits offers significant benefits for businesses and consumers, aiding in precise marketing, inventory management, and understanding preferences. The study's focus on consumers' purchasing preferences involved a thorough demographic analysis, extracting comprehensive insights into diverse consumer groups' shopping habits.

While the study utilized data from the EU Statistical Report on Online Shopping as a foundation, it acknowledges the need for a more detailed analysis to understand the intricate dynamics between consumers and their preferred product categories. The survey, targeting over 700 consumers in higher education institutions in Hungary, aimed to gather valuable insights into preferences and behaviors in this specific group.

The analysis focused on participants' circumstances, examining simple features like age, employment status, and residence. Respondents assessed these conditions and expressed preferences for online shopping in different categories. In this instance, we investigated the participants' situations by selecting straightforward criteria for analysis: Age, Employment status, and Residence. Respondents were provided with three options to evaluate these conditions (refer to Table 1). Additionally, they had the opportunity to express their preferences for online shopping across various product categories (refer to Table 2).

1. Table Levels of the independent input variables

Levels	Age	Employment	Residence
1	X generation (1965-1979)	Student	Small town
2	Y generation (1980-1994)	Both	Town
3	Z generation (1995-2007)	Employee	Capital

2. Table outcomes variables

Bills, utilities	Food, shopping	Entertainment	Wellnes, beauty	Electronic items	Fashion	Home, decoration	Other
------------------	----------------	---------------	-----------------	------------------	---------	------------------	-------

The study aims to address limitations in existing reports by providing a more detailed and focused analysis to gain deeper insights into the relationship between consumers and specific product categories.

2.2 Method

This paper analyzes data from the European Union's 2021 Online Shopping Report, focusing on the relationships between product categories. The data analysis contributes to a comprehensive and accurate understanding of online shopping habits in the EU. Furthermore, identifying the relationships can be essential for understanding and developing the e-commerce market.

Predictive models are essential for decision-making, as they allow for predicting future events and trends. These models use statistical and machine learning techniques to determine future events' probability or expected values. Data-driven predictive diagnostic systems help decision makers to plan and react effectively to upcoming events and risks. Predictive models have many applications, including economics, finance, marketing, social sciences, and health [11][12].

However, it can be challenging to create predictive models because many factors must be considered, such as data quality, model validity, and performance evaluation. Therefore, when using predictive models, it is paramount to interpret the results correctly and ensure that the model works correctly in the application domain [13].

Fuzzy set theory was introduced by Zadeh in 1965. Its main aim was to solve problems that could not be precisely defined or efficiently solved within the framework of classical set theory. Fuzzy set theory adopts a methodological approach that defines sets in a fuzzy way, is flexible in treating partial definitions of membership and truth content, and thus mimics human reasoning [14].

A fuzzy inference system (FIS), also known as a fuzzy inference system, comprises four primary components. The fuzzification unit's first component defines membership functions for each input and output variable, considering the specified ranges. Since human language often uses words and qualitative expressions to describe complex systems, this section can be used for numerical values and specific linguistic variables. The purpose of this step is to convert the data into membership functions.

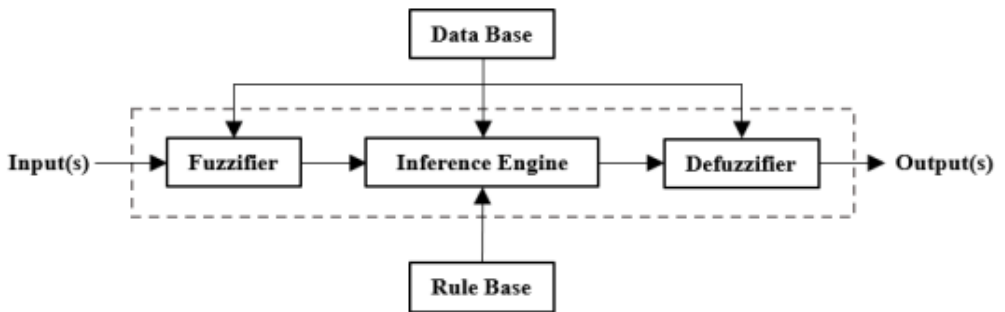


Figure 1: General structure of a FIS

The rule base establishes connections between input and output variables using IF... THEN... (ELSE...) statements. The first part outlines input conditions, while the second part specifies the consequences (output). The inference engine, crucial to the system, activates rules, assesses the strength of antecedents, and transmits this information to output sets. Commonly used inference types include Mamdani [15] and Sugeno [16]. Defuzzification, the final step, converts fuzzy output to precise values using various methods. Notably, Sugeno-type inference doesn't require exact defuzzification [17].

3. Conclusion

This manuscript conducts a thorough examination and assessment of a survey aimed at understanding the consumption behaviors of online shoppers. Utilizing a phenomenological model developed for this purpose, the study employs a Sugeno-type fuzzy inference system to predict the likelihood of online purchases across diverse product categories. The prediction process is facilitated by three easily measurable input parameters: demographic data (age, employment status, and residence). Moreover, eight output parameters representing distinct product categories, including bills and utilities, food and shopping, entertainment, wellness and beauty, electronics, fashion, home and decoration, and others, were established. The paper extensively delves into the practical application of the Fuzzy Inference System as a valuable tool for market forecasting within the scope of the case study. The conclusions drawn from the results are:

- The case study data, obtained through our research team's questionnaire survey, showcases the application of soft calculation methods.
- The developed inference system identifies patterns, aiding online retailers in refining marketing strategies and understanding customer preferences.
- Students born between 1980 and 1990, residing in small towns or the capital city, prefer paying bills online.
- Capital city students, especially mid to lower Generation Y, show a higher inclination for online food ordering.
- Entertainment spending is notably high among capital city students, particularly Generation Y.
- Students born after 1980 in urban areas, balancing work and study, exhibit the most favorable results for electronics sales.
- Generation Y participants in cities and Generation X participants in metropolitan areas are most likely to purchase home and decorative items.

Upon comparing our findings with Eurostat results, it becomes evident that the consumption habits of different age groups closely parallel those of European Union consumers. However, our analysis provides a more in-depth comprehension of the demographic attributes linked to these age cohorts.

Acknowledgments

SUPPORTED BY THE ÚNKP-23-3-II-OE-46 NEW NATIONAL EXCELLENCE PROGRAM OF THE MINISTRY FOR CULTURE AND INNOVATION FROM THE SOURCE OF THE NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION FUND.



4. References

- [1] Tsai, J. Y., Egelman, S., Cranor, L., & Acquisti, A. (2011). The effect of online privacy information on purchasing behavior: An experimental study. *Information systems research*, 22(2), 254-268.
- [2] KPMG. (2020). Global online consumer report. <https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2020/06/consumers-and-the-new-reality.html>
- [3] Zadeh, L. A., Klir, G. J., Yuan, B. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers. 1996, World scientific.
- [4] Ponsard, C. An application of fuzzy subsets theory to the analysis of the consumer's spatial preferences. *Fuzzy Sets Syst.* 1981, 5(3), 235-244. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(81\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0165-0114(81)90052-X)
- [5] Lo, K. L., Zakaria, Z. Electricity consumer classification using artificial intelligence. In 39th International Universities Power Engineering Conference IEEE. 2004, Volume. 1, pp. 443–447.
- [6] Meier, A., Werro, N., Albrecht, M., Sarakinos, M. Using a fuzzy classification query language for customer relationship management. In Proceedings of the 31st international conference on Very large data bases. 2005, pp. 1089–1096.
- [7] Orriols-Puig, A., Casillas, J., Martínez-López, F. Unsupervised learning of fuzzy association rules for consumer behavior modeling. *Mathware and Soft Computing.* 2009, 16(1), 29-43.
- [8] Martin, N. Ranking of the factors influencing consumer behaviour using Fuzzy Cognitive Maps. *Asia Matematika.* 2018, 2(3), 14–18.
- [9] Khan, S., Tomar, S., Fatima, M., & Khan, M. Z. Impact of artificial intelligent and industry 4.0 based products on consumer behaviour characteristics: A meta-analysis-based review. *Sustainable Oper. Comput.* 2022, 3, 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.009>
- [10] Garai-Fodor, M., Vasa, L., & Jackel, K. Characteristics of segments according to the preference system for job selection, opportunities for effective incentives in each employee group. *Decision Making: Applications in Management and Engineering.* 2023, 6(2), 557-580. <https://doi.org/10.31181/dmame622023761>
- [11] Shmueli, G., & Koppius, O. R. Predictive analytics in information systems research. *MIS quarterly.* 2011, 553–572. <https://doi.org/10.2307/23042796>
- [12] Varga, J. Defining the Economic Role and Benefits of Micro, Small and Medium-sized Enterprises in the 21st Century with a Systematic Review of the Literature. *Acta Polytechnica Hungarica.* 2021, 18(11), 209-228. <https://doi.org/10.12700/APH.18.11.2021.11.12>
- [13] Bognár, F., Hegedűs, C. Analysis and Consequences on Some Aggregation Functions of PRISM (Partial Risk Map) Risk Assessment Method. *Mathematics.* 2022, 10(5), 676. <https://doi.org/10.3390/math10050676>
- [14] Zadeh, L. A. Fuzzy sets. *Information and control.* 1965, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [15] Mamdani, E. H.: Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In Proceedings of the institution of electrical engineers. 1974, Volume 121, No. 12, pp. 1585–1588, <https://doi.org/10.1049/piee.1974.0328>

- [16] Sugeno, M.; Yasukawa, T.: A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling. IEEE Trans. Fuzzy Syst. 1993, Volume 1, No. 1, pp. 7–31. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.1993.390281>
- [17] Abonyi, J. Fuzzy model identification Birkhäuser Boston. 2003, pp. 87–164. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0027-7>



Production's risk mitigation on the field of Automotive Industry

¹Istvan Gal, ²Zoltan Hima, ³Andrea Tick

¹*Doctoral School of Safety and Security Sciences, Óbuda University, 1081 Budapest, Népszínház str. 8.*

²*SZEEDSM Doctoral Program in Management, Széchenyi István University; 9026 Győr Egyetem sqr 1.*

³*Keleti Károly Faculty of Business and Management, Óbuda University, 1034 Budapest, Tavaszmező str. 15-17*

Corresponding author mail: writeistvan@gmail.com

Abstract

Due to its dynamic nature and complex supply chains, the automotive industry faces many production risks that can significantly affect operational efficiency and product quality. Vehicle production is highly demanding in terms of energy and raw materials. This paper examines the risks in the automotive industry, presents strategies that can be used to reduce these risks, since the goal is to increase flexibility and ensure a smooth production process. The adequacy of supply chain management, quality control, technology adoption, workforce training and regulation in its critical areas are examined, which cover the manufacturing process. The implementation of these strategies is crucial for automakers to effectively manage uncertainties, maintain high production standards, and maintain their reputation against competitors. By emphasizing the proactive measures presented, continuous improvement and collaboration with key stakeholders, automakers can strengthen their manufacturing processes against potential disruptions, ensuring sustainable growth, sustainability, and success in a highly evolving industry.

Keywords: automotive industry, financial risks, HR risks, logistics risks, OTD, production's risk, quality risks, sustainability

1. Introduction

The automotive industry, a cornerstone of global manufacturing, faces many challenges in its manufacturing processes that require strategic risk mitigation measures. As technological advances, market dynamics and external factors continue to evolve, ensuring the smooth and efficient operation of automotive manufacturing has become more complex and critical than ever. This paper discusses the various risks associated with automotive manufacturing and explores proactive strategies used by industry leaders to mitigate these challenges. Initiatives aimed at reducing carbon emissions, fostering diversity, ensuring worker safety, and engaging with local communities have demonstrated their capacity to nurture robust supplier relationships, and mitigate risks (Lin, 2023).

In the dynamic landscape of automotive manufacturing, risks can take many forms, including supply chain disruptions, technological failures, regulatory changes, and human error. Each of these factors can affect production schedules, quality standards, and overall operational efficiency. Consequently, the industry is forced to adopt innovative and adaptive approaches to navigate these challenges and maintain its market position. It is not just a matter of convenience to include both

externalities and market power mitigation together in the pricing mechanism (Varawala et al., 2023). This paper also aims to highlight the multifaceted nature of production risks in the automotive industry and the various strategies used to effectively mitigate these risks.

In our opinion, smart networks are not just technology, but a complex set of interwoven technologies that require drastic changes in both user behavior and society (Piricz, 2020). The creation of intelligent networks helps the operation of the entire supply chain, from the start of the process to the end of the process.

As we delve into the complex web of challenges and solutions in automotive manufacturing, a nuanced understanding of risk mitigation strategies will emerge (Rivera Domínguez et al., 2023). By examining real-world examples, industry trends, and emerging best practices, readers will gain valuable insight into how the automotive industry is proactively managing manufacturing risks to ensure sustained success in an ever-changing environment. The following sections address specific risk mitigation strategies, showing their impact on production resilience and the wider implications for the automotive industry.

2. Risk Mitigation Strategies

2.1 HR risk mitigation strategies

HR is a critical department that deals with the management of the organization's biggest asset, the organization's employees (Cayrat and Boxall, 2023). Compliance and legal risks can interfere with the safety of the activity when they are opposed to labor laws or with employment regulations. The consequences of these are lawsuits, fines or penalties, which affect the perception, existence and development of the company's competitiveness (Biggeri et al., 2023).

Talent management risks can be at the plant when the hiring process has inadequate recruitments, and the hiring process leads to the selection of unsuitable candidates. In the end that flow will impact overall the team's performance. Employee relations risks (Zuo et al., 2022) may appear, e.g. disputes, conflicts, and poor employee relations. All of these can affect the workplace environment and productivity. There may be a lack of effective communication, leading to misunderstandings and dissatisfaction among employees.

Risks can also appear in the areas of training and development. Inadequate training programs can result in the workforce not having the skills necessary to perform their duties effectively. Insufficient focus on employee development can lead to a lack of career growth opportunities (Liu et al., 2024), affecting morale and retention. The company must constantly pay attention to this phenomenon. Must act when any notice appears from any deterioration.

Data security and data protection risks are extremely important. Improper handling of employee data poses a privacy risk and can therefore have legal consequences. The GDPR was developed for this purpose, and HR department ensures compliance with it. Cyber security threats can also compromise HR systems. Overall, this can lead to data breaches and identity theft (Patterson et al., 2023). The risk of succession planning is a risk that we tend not to think about when starting a company. However, due to various reasons, succession must be ensured when the workforce is replaced. When we do not take care of succession, or we do not take care of it in time, we incur losses.

Compensation and benefit risks appear when an unfair compensation practice event occurs. They can lead to dissatisfaction and demotivation in employees and their effect is immediately visible in the effectiveness of their activities. Poorly designed or communicated benefits packages can also affect employee morale and retention. The occurrence of this must also be continuously checked.

Risks on the operator's side, price changes resulting from the energy crisis are seen as the greatest risk, which may even be a possibility in the future, since, at the current level of consumption, the city has an energy surplus, which may be sold at market prices in the future, so it may be advisable to examine the possibility offered by energy communities (Piricz and Révész, 2022).

Workplace health and safety risks are types of risk that apply to all employees, regardless of the work they do. Failure to provide a safe and healthy work environment can lead to accidents, injuries, and legal liability. Failure to comply with occupational health and safety regulations may result in sanctions. Its existence is so important that visitors arriving for a temporary period are also obliged to comply with the safety regulations (Biermann-Teuscher et al., 2023).

Technological risks appear in all areas of industry (Alpkan and Gemici, 2023). Relying on outdated HR systems can lead to inefficiencies and errors in HR processes, as can inadequate cyber security measures and unauthorized access to HR data. The great competition in the automotive industry highlights this risk, as it must ensure that its successes in the market are maintained in the future too.

To mitigate these risks, organizations should invest in robust HR policies, stay informed about changes in labor laws, foster a positive workplace culture, and regularly review and update HR processes to align with best practices. Regular training for HR staff and effective communication channels within the organization are also crucial for managing HR-related risks.

2.2 Risk mitigation in supply chain

Logistics department is a crucial component of many businesses, responsible for managing the movement of goods and materials throughout the supply chain. Several risks can impact the efficiency and effectiveness of logistics operations. Each of these risk factors in the automotive industry is actually a challenge that must be met successfully (Molnár and Téglá, 2023).

There can be disruptions in the supply chain (W. Zhou et al., 2023), and these affect the functioning of the entire operation. There can be countless reasons for this problem, which can be of many kinds and can have many effects on production and the production of finished goods.

Natural disasters, geopolitical events or unexpected disruptions are problems that are basically beyond the business company's control, but they can affect the flow of goods and materials, which can lead to delays and shortages and finally, it can affect productivity (Bo et al., 2023).

Inventory management risks can affect productivity (Liu et al., 2022). Overstocked or understocked inventory can lead to financial losses. Inaccurate demand forecasting and inefficient inventory management processes contribute to these risks. The procurement of raw materials is governed by rules, from forecasts to actual delivery, with the selection and mutual acceptance of appropriate incoterms.

Rising fuel costs, longer sea transportation, road transportation, or air transportation and changes in related customs clearance or other transportation regulations may also affect logistics costs (Gao et al., 2024). Delivery risks may occur, such as delivery delays, accidents or breakdowns that may disrupt the timely delivery of goods.

Technological and IT risks are the risks that represent the technology used to monitor and manage logistics operations. In logistics, their dependency is high and carries risks related to system failures, cyber security threats and data breaches (Shen et al., 2023).

There may also be supplier and vendor risks. Relying on a limited number of suppliers or a limited number of suitable suppliers can expose the organization to risks such as supply chain disruptions, quality problems or sudden cost increases (Padhi et al., 2024).

Regulatory compliance risks can arise for the following reasons. Failure to comply with customs

regulations, trade restrictions or other shipping regulations may result in delays, fines, and legal consequences. These must be considered when planning the activity. Capacity and resource constraints. Inadequate infrastructure, insufficient warehouse space or a lack of trained personnel can lead to capacity constraints and affect the efficiency of logistics operations.

Currency and financial risks can also affect efficiency. Fluctuations in currency exchange rates can affect international shipping costs and the overall financial performance of logistics operations. After all, the consideration for the services used must be paid, and any change in the exchange rate can also cause liquidity problems (Chakrabarti and Sen, 2023).

Environmental risks may arise (Raian et al., 2023). Increased awareness of environmental issues has led to increased monitoring of the environmental impacts of logistics operations. Failure to comply with environmental regulations may result in fines and damage to the organization's reputation. Overall, competitiveness may be affected by this problem, so it must be eliminated as soon as possible.

Communication and collaboration risks can arise between different stakeholders in the supply chain. Ineffective communication and cooperation between the actors, which are suppliers, manufacturers, distributors, and service providers, can lead to misunderstandings and confusion (Wang et al., 2023).

Under labor and human resources risks, we mean the following risks: lack of skilled labor strikes or other work-related problems can disrupt the operation of the logistics department (Qi et al., 2023). This can be a nuisance, but it can also be a long-term operational risk.

To mitigate these risks, organizations should implement robust risk management strategies, invest in advanced logistics technologies, diversify suppliers, and develop contingency plans for potential disruptions. Regular monitoring, collaboration with key stakeholders, and staying informed about changes in regulations and market conditions are also essential for effective risk management in the logistics department.

2.3 Risk mitigation in production

Production risks refer to the potential challenges and uncertainties that can impact the manufacturing or production processes within a business (Lai et al., 2023). These risks can affect the timely and efficient production of goods and may have consequences for the overall performance of the organization.

Supply chain disruptions affect production. Disruptions in the supply chain, such as delays in the delivery of raw materials or parts, can disrupt production schedules and lead to shortages. Dropping production or moving it to a later date effects on-time delivery, which will also affect the arrival of additional orders (W. Zhou et al., 2023).

Fluctuations in demand affect overall company production (Rajani et al., 2022). Changes in market demand can lead to overproduction or underproduction, affecting inventory levels and potentially leading to financial losses. If this is only a temporary problem, it can still lead to significant costs.

Quality control issues also involve significant risks. Defects or inconsistencies in the manufacturing process can result in substandard products, which can lead to customer dissatisfaction, returns and potential damage to the company's reputation (Babalola et al., 2023). Therefore, the examination of this risk is a permanent activity.

Equipment breakdowns can cause problems in the production of the finished product. During production, the lack of availability of an inadequate amount of production equipment can also cause the creation of an inadequate number of products. Failure of production equipment can result in downtime, delays, and increased maintenance costs (Chinta et al., 2023).

Labor shortages or strikes can block production. Lack of skilled labor or other work-related disruptions can affect production capacity and efficiency. Work force cannot be reserved, so you must prepare for this possibility. Regulatory compliance risks are present from the first minute of activity. Failure to comply with industry regulations or product standards may result in fines, recalls or legal consequences (Wei et al., 2023).

Another type of risk is technology and automation risks, which mean dependence on technology and automation (Filippi et al., 2023). It associates risks with system failures, cyber security threats, and the need for constant updates and maintenance.

The availability of energy and resource costs is also of prime importance (Paea and Santhià, 2022). Shortages in energy and raw material price fluctuations can affect production costs and profitability. Capacity restrictions may apply. Inadequate production capacity or production process bottlenecks can limit an organization's ability to meet demand (Talens Peiró et al., 2022). The Production Planning Department probably can solve the problem. Production Planning Department must work together with Production in a strong relationship.

Natural disasters and environmental risks may occur. Events such as earthquakes, floods or other natural disasters can disrupt production facilities and supply chains. Environmental concerns can also affect production processes (Shen et al., 2023). The goal is to avoid them.

There may also be risks of introducing a new product (J. Zhou et al., 2023). Introducing new products involves uncertainties regarding market acceptance, production scalability, and potential unforeseen challenges.

Intellectual property risks are also protected by law. In addition, risks related to the protection of intellectual property may arise (Chen et al., 2023). Especially in industries where patented technologies or processes are critical to production, it is justified to use greater resources.

Fluctuations in currency exchange rates are among the risks arising from currency and international trade activities (Della Corte et al., 2023). This can affect the cost of imported raw materials and services and the competitiveness of exported goods.

To mitigate production risks, organizations should implement comprehensive risk management strategies. This includes regular monitoring of supply chains, investing in quality control measures, maintaining equipment, diversifying suppliers, and staying informed about changes in market conditions and regulations. Continuous improvement initiatives, employee training, and contingency planning are also crucial components of effective production risk management.

2.4 Risk mitigation in quality assurance

Quality risks in production refer to the potential challenges and uncertainties that can compromise the quality of manufactured goods (Mishra et al., 2024). Maintaining high-quality standards is crucial for the success and reputation of a business.

Defective materials or parts can cause production difficulties (Shan et al., 2023). Poor quality or defective raw materials and components can lead to the production of substandard products. Operating with inadequate quality control processes is risky. Inadequate or ineffective quality control processes can result in defects or inconsistencies in the manufacturing process resulting in a substandard product.

Defects in production equipment, such as production machinery or equipment, can lead to failure of the final product if not detected and treated immediately (Liu et al., 2023). Production therefore checks its availability every day at the start of the shift. The risk of human error should also be mentioned. Errors made by workers during the manufacturing process, such as improper assembly or measurement errors, can compromise product quality.

The risk of inadequate training is also the risk of product compliance. Inadequate training of production personnel can lead to mistakes and errors that affect the quality, functionality, and consequent demand of products and functionality of the products and the resulting decrease in demand (De Oliveira et al., 2021). Supply chain issues can occur when quality suffers, when there are problems with suppliers, such as inconsistent quality of raw materials or delays in the supply chain.

Environmental factors can also pose a risk in this field. Manufacturing processes can be sensitive to environmental conditions, and factors such as temperature, humidity or other environmental variables can affect product quality. Regulatory compliance justified the creation of various standards in the automotive industry (Li and Nam, 2022), such as ISO TS/16949 and later the IATF standard were created. Failure to comply with industry regulations and quality standards can result in fines and damage to the company's reputation. Risks are hidden in the lack of documentation of the process. This means the mentioned ISO specifications. Incomplete or outdated process documentation can lead to deviations in the production process, which affects the quality of the product.

Testing and verification errors are a risk. If testing and inspection procedures are not rigorous or not performed properly, defects may go undetected, leading to the release of nonconforming products. Changing product design also carries risks (Li et al., 2023). Changes in its specifications may also present new risks if they are not thoroughly reviewed and validated before implementation.

If quality defects occur at the supplier, it can immediately affect the usability of the product on the customer side, since quality problems at the supplier level, including changes in production standards, can affect the quality of the final product (Azamfirei et al., 2023). The risk of a product recall may be caused by the non-compliance of a product. Recalls may be necessary if quality problems are detected after the products are released to the market, leading to financial losses and damage to the brand.

To mitigate quality risks in production, organizations should implement robust quality management systems, conduct regular audits and inspections, invest in employee training, and establish clear communication channels with suppliers. Continuous monitoring and improvement of production processes, as well as a strong focus on adherence to industry standards and regulations, are essential components of effective quality risk management in production.

2.5 Risk mitigation in financial issues

The financial department of a production plant is responsible for managing the financial aspects of the plant's operations, including budgeting, accounting, financial reporting, and compliance. Various risks can impact the financial stability and performance of the financial department within a production plant.

Countless budgetary risks arose. Therefore, inaccurate budgeting or failure to meet budget constraints can lead to financial stress and affect the overall financial health of the manufacturing plant. There is also the risk of cost overruns. Unexpected increases in production costs (Schögggl et al., 2023), whether due to fluctuations in raw material prices, unexpected maintenance costs or other factors, can strain financial resources.

During cash flow management risks, poor cash flow management can lead to liquidity problems and make it difficult to meet short-term financial obligations. Exchange rate risks were mentioned as risk factors in several areas (Alami et al., 2023). Manufacturing plants involved in international trade may face risks related to exchange rate fluctuations that affect the cost of imported materials or the competitiveness of exported goods.

Fluctuations in market demand can affect revenue generation, which in turn can affect the

financial stability of the production plant. Credit and receivables risks (Lind et al., 2012) are the risks when the delay of customer payments or the increase of bad debts can affect the cash flow and financial performance of the plant. Financial reporting errors can also occur when inaccuracies or errors in financial reports can lead to compliance issues, regulatory audits, and damage the company's reputation.

Interest rate risks may occur in countries with unstable economies (Claußen and Platte, 2023). If the manufacturing facility has taken out loans, changes in interest rates can affect the cost of debt and general financial expenses, thus financial stability. By compliance and regulatory risks, we mean when non-compliance with financial regulations and reporting obligations results in fines and legal consequences.

The volatility of the market price is also a risk. Fluctuations in the market price of finished products or raw materials can affect the profitability of the plant and other risk from suppliers (Bartos et al., 2022). Over-reliance on a small number of suppliers can expose the plant to risks such as supply chain disruptions, price fluctuations and quality problems. In the automotive industry, a customer-approved supplier is usually accepted without a substitute alternative.

Bad investment decisions or inadequate evaluation of the return on investment of capital projects can lead to financial losses (Colombari et al., 2023). Strategic risks can occur when the lack of consistency between the financial strategy and the overall business strategy can result in financial decisions that are not favorable to the long-term success of the manufacturing plant.

Failure to comply with tax regulations may result in fines and legal consequences. Although the occurrence of this is very rare, it is also a kind of risk. The risk of employee fraud and misconduct is much more common. Taxpayer satisfaction with the services provided by the government and tax authority is linked to greater compliance with tax regulations (Lutfi et al., 2023). Fraudulent activities or misconduct within the finance department can result in financial losses and reputational damage.

To mitigate these financial department risks in a production plant, organizations should implement sound financial management practices, conduct regular financial audits, stay informed about market trends, and maintain a diversified supplier base. Additionally, a strong focus on compliance, robust financial reporting systems, and contingency planning are essential components of effective risk management in the financial department of a production plant.

3. Conclusion

In summary, the automotive field faces a variety of production risks that affect efficiency, cost-effectiveness, and overall success. However, proactive risk mitigation strategies play a crucial role in minimizing challenges and ensuring the smooth operation of manufacturing processes. Figure 1 summarizes a production plant's risk mitigation, presenting the risks of the five most affected areas.

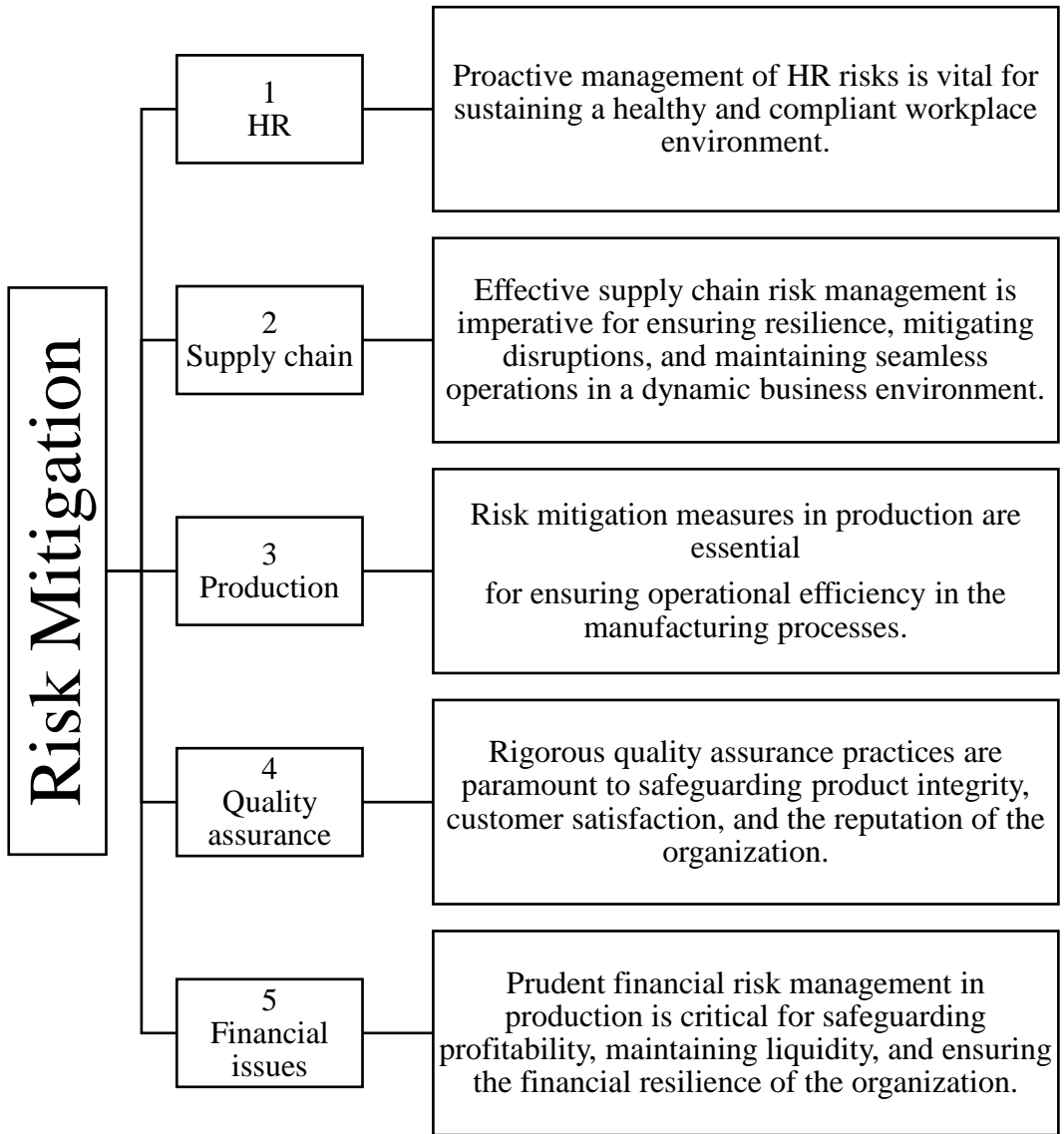


Figure 1. Production Plant's risk mitigation (developed by the authors)

Navigating the diverse landscape of HR, logistics, production, quality, and finance involves addressing a myriad of risks, from talent management challenges and supply chain disruptions to production inefficiencies, quality control issues, and financial uncertainties. Effective risk mitigation strategies across these domains are essential for organizations to thrive in the face of dynamic business environments, ensuring optimal performance, compliance, and sustained success.

The automotive industry recognizes the importance of proactive risk management in navigating the complex challenges of production. By embracing technological developments, diversifying supply chains, leveraging data-driven knowledge, fostering collaboration, ensuring regulatory compliance, and investing in talent development, manufacturers can improve the identification and assessment of production risks and reduce their capability. As the sector continues to evolve, a

commitment to robust risk mitigation strategies will be essential for sustained success and resilience in an ever-changing global environment.

4. References

- [1] Alami, A.H., Ghani Olabi, A., Alashkar, A., Alasad, S., Aljaghoub, H., Rezk, H., Abdelkareem, M.A., 2023. Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals. *Ain Shams Engineering Journal* 14, 102516. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102516>
- [2] Alpkán, L., Gemici, E., 2023. The relation between high-performance work systems and product innovativeness: The mediating role of technological capabilities and the moderating role of university-industry collaboration. *Journal of Engineering and Technology Management* 67, 101735. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2023.101735>
- [3] Azamfirei, V., Granlund, A., Lagrosen, Y., 2023. Lessons from adopting robotic in-line quality inspection in the Swedish manufacturing industry. *Procedia Computer Science*, 4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing 217, 386–394. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.234>
- [4] Babalola, S.A., Mishra, D., Dutta, S., Murmu, N.C., 2023. In-situ workpiece perception: A key to zero-defect manufacturing in Industry 4.0 compliant job shops. *Computers in Industry* 148, 103891. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103891>
- [5] Bartos, K.E., Schwarzkopf, J., Mueller, M., Hofmann-Stoelting, C., 2022. Explanatory factors for variation in supplier sustainability performance in the automotive sector – A quantitative analysis. *Cleaner Logistics and Supply Chain* 5, 100068. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100068>
- [6] Biermann-Teuscher, D., Thissen, L., Horstman, K., Meershoek, A., 2023. Safety: A collective and embedded competency. An ethnographic study of safety practices at an industrial workplace in the Netherlands. *Journal of Safety Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.10.012>
- [7] Biggeri, M., Borsacchi, L., Braitto, L., Ferrannini, A., 2023. Measuring the compliance of management system in manufacturing SMEs: An integrated model. *Journal of Cleaner Production* 382, 135297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135297>
- [8] Bo, H., Chen, X.A., Luo, Q., Wang, W., 2023. Manufacturing rescheduling after crisis or disaster-caused supply chain disruption. *Computers & Operations Research* 157, 106266. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106266>
- [9] Cayrat, C., Boxall, P., 2023. The roles of the HR function: A systematic review of tensions, continuity and change. *Human Resource Management Review* 33, 100984. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2023.100984>
- [10] Chakrabarti, P., Sen, S., 2023. Foreign currency borrowing and risk exposure of firms: An emerging market economy viewpoint. *Journal of Policy Modeling* 45, 1246–1261. <https://doi.org/10.1016/j.jpmod.2023.09.004>
- [11] Chen, J., Hsieh, P.-F., Wang, K., 2023. Cracking down on the infringement and counterfeiting: Intellectual property rights and corporate innovation in China. *Finance Research Letters* 55, 103846. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103846>
- [12] Chinta, V.S., Kethi Reddi, S., Yarramsetty, N., 2023. Optimal feature selection on Serial

- Cascaded deep learning for predictive maintenance system in automotive industry with fused optimization algorithm. *Advanced Engineering Informatics* 57, 102105. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102105>
- [13] Claußen, C., Platte, D., 2023. Evaluating the validity of regulatory interest rate risk measures – a simulation approach. *Journal of Banking & Finance* 154, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2023.106933>
- [14] Colombari, R., Geuna, A., Helper, S., Martins, R., Paolucci, E., Ricci, R., Seamans, R., 2023. The interplay between data-driven decision-making and digitalization: A firm-level survey of the Italian and U.S. automotive industries. *International Journal of Production Economics* 255, 108718. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108718>
- [15] De Oliveira, U.R., Aparecida Neto, L., Abreu, P.A.F., Fernandes, V.A., 2021. Risk management applied to the reverse logistics of solid waste. *Journal of Cleaner Production* 296, 126517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126517>
- [16] Della Corte, P., Jeanneret, A., Patelli, E.D.S., 2023. A credit-based theory of the currency risk premium. *Journal of Financial Economics* 149, 473–496. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.06.002>
- [17] Filippi, E., Bannò, M., Trento, S., 2023. Automation technologies and their impact on employment: A review, synthesis and future research agenda. *Technological Forecasting and Social Change* 191, 122448. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122448>
- [18] Gao, T., Tian, J., Huang, C., Wu, H., Xu, X., Liu, C., 2024. The impact of new western land and sea corridor development on port deep hinterland transport service and route selection. *Ocean & Coastal Management* 247, 106910. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106910>
- [19] Lai, X., Chen, Z., Wang, X., Chiu, C.-H., 2023. Risk propagation and mitigation mechanisms of disruption and trade risks for a global production network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 170, 103013. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.103013>
- [20] Li, R., Yang, N., Yi, H., Jin, N., 2023. The robustness of complex product development projects under design change risk propagation with gray attack information. *Reliability Engineering & System Safety* 235, 109248. <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109248>
- [21] Li, X., Nam, K.-M., 2022. Environmental regulations as industrial policy: Vehicle emission standards and automotive industry performance. *Environmental Science & Policy* 131, 68–83. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.015>
- [22] Lin, W.L., 2023. Corporate social responsibility and irresponsibility: Effects on supply chain performance in the automotive industry under environmental turbulence. *Journal of Cleaner Production* 428, 139033. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139033>
- [23] Lind, L., Pirttilä, M., Viskari, S., Schupp, F., Kärrä, T., 2012. Working capital management in the automotive industry: Financial value chain analysis. *Journal of Purchasing and Supply Management, Vision 20/20: Preparing Today for Tomorrow's Challenges* 18, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2012.04.003>
- [24] Liu, J., Wang, T., Yao, F., Pedrycz, W., Song, Y., He, R., 2024. Assessing growth potential of careers with occupational mobility network and ensemble framework. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 127, 107306. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107306>

- [25] Liu, K., Cai, B., Wu, Q., Chen, M., Yang, C., Khan, J.A., Wang, C., Pattiyakumbura, H.V.W., Ge, W., Liu, Y., 2023. Risk identification and assessment methods of offshore platform equipment and operations. *Process Safety and Environmental Protection* 177, 1415–1430. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.07.081>
- [26] Liu, M., Liu, Z., Chu, F., Zheng, F., Chu, C., 2022. Integrated inventory management, supplier selection, disruption risk assessment problem under ripple effect. *IFAC-PapersOnLine*, 10th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2022 55, 3094–3099. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.204>
- [27] Lutfi, A., Alshira'h, A.F., Alshirah, M.H., Al-Ababneh, H.A., Alrawad, M., Almaiah, M.A., Dalbough, F.A., Magabli, A.M., Mohammed, F.M., Alardi, M.W., 2023. Enhancing VAT compliance in the retail industry: The role of socio-economic determinants and tax knowledge moderation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 9, 100098. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100098>
- [28] Mishra, M., Ghosh, S.K., Sarkar, B., Sarkar, M., Hota, S.K., 2024. Risk management for barter exchange policy under retail industry. *Journal of Retailing and Consumer Services* 77, 103623. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103623>
- [29] Molnár, L., Tégla, Z., 2023. Logisztikai kihívások az autóiparban 2020-2023. *Acta Carolus Robertus* 13, 123–133.
- [30] Padhi, S.S., Mukherjee, S., Edwin Cheng, T.C., 2024. Optimal investment decision for industry 4.0 under uncertainties of capability and competence building for managing supply chain risks. *International Journal of Production Economics* 267, 109067. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.109067>
- [31] Palea, V., Santhià, C., 2022. The financial impact of carbon risk and mitigation strategies: Insights from the automotive industry. *Journal of Cleaner Production* 344, 131001. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131001>
- [32] Patterson, C.M., Nurse, J.R.C., Franqueira, V.N.L., 2023. Learning from cyber security incidents: A systematic review and future research agenda. *Computers & Security* 132, 103309. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103309>
- [33] Piricz, N., 2020. Management Challenges of Smart Grids, in: Kolinski, A., Dujak, D., Golinska-Dawson, P. (Eds.), *Integration of Information Flow for Greening Supply Chain Management, EcoProduction*. Springer International Publishing, Cham, pp. 393–415. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24355-5_20
- [34] Piricz, N., Révész, B., 2022. Lessons Learned from an Operational Smart Grid Through the Example of a Local Government in Hungary. *PÉNZÜGYI SZEMLE/PUBLIC FINANCE QUARTERLY (1963-)* 67, 396–412.
- [35] Qi, W., Li, B., Liu, Q., Lv, J., 2023. Low-skill lock-in? Financial resource mismatch and low-skilled labor demand. *Finance Research Letters* 55, 104003. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104003>
- [36] Raian, S., Siddiqua, T., Abdul Moktadir, Md., Rahman, T., 2023. An empirical model for identifying and controlling operational and environmental risks in spinning industry in an emerging economy. *Computers & Industrial Engineering* 180, 109244. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109244>
- [37] Rajani, R.L., Heggde, G.S., Kumar, R., Chauhan, P., 2022. Demand management strategies

- role in sustainability of service industry and impacts performance of company: Using SEM approach. *Journal of Cleaner Production* 369, 133311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133311>
- [38] Rivera Domínguez, C., Eduardo Ramírez Guadian, J., Guerrero Lona, J., Ivette Pozos Mares, J., 2023. Hazard identification for risk assessment using the PRA technique in the automotive industry. *Safety Science* 160, 106041. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106041>
- [39] Schöggel, J.-P., Baumgartner, R.J., O'Reilly, C.J., Bouchouireb, H., Göransson, P., 2023. Barriers to sustainable and circular product design – A theoretical and empirical prioritisation in the European automotive industry. *Journal of Cleaner Production* 140250. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140250>
- [40] Shan, Y., Zhang, G., Shi, Y., Pang, H., 2023. Synthesis and catalytic application of defective MOF materials. *Cell Reports Physical Science* 4, 101301. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2023.101301>
- [41] Shen, G., Zhou, L., Xue, X., Zhou, Y., 2023. The risk impacts of global natural and technological disasters. *Socio-Economic Planning Sciences* 88, 101653. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101653>
- [42] Talens Peiró, L., Martin, N., Villalba Méndez, G., Madrid-López, C., 2022. Integration of raw materials indicators of energy technologies into energy system models. *Applied Energy* 307, 118150. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118150>
- [43] Varawala, L., Hesamzadeh, M.R., Dán, G., Bunn, D., Rosellón, J., 2023. A pricing mechanism to jointly mitigate market power and environmental externalities in electricity markets. *Energy Economics* 121, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106646>
- [44] Wang, Q., Liu, H., Ore, F., Wang, L., Hauge, J.B., Meijer, S., 2023. Multi-actor perspectives on human robotic collaboration implementation in the heavy automotive manufacturing industry - A Swedish case study. *Technology in Society* 72, 102165. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102165>
- [45] Wei, Q., Liu, Y., Dong, Y., Li, T., Li, W., 2023. A digital twin framework for real-time ship routing considering decarbonization regulatory compliance. *Ocean Engineering* 278, 114407. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114407>
- [46] Zhou, J., Liu, Y., Liang, D., Tang, M., 2023. A new risk analysis approach to seek best production action during new product introduction. *International Journal of Production Economics* 262, 108911. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108911>
- [47] Zhou, W., Yang, H., Dang, Y., Niu, B., 2023. A novel mechanism in a dual-sourcing supply chain with supply disruption risk: The fraction-committed procurement contract. *Computers & Industrial Engineering* 186, 109712. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109712>
- [48] Zuo, J., Zhang, W., Hu, M., Feng, X., Zou, G., 2022. Employee relations and stock price crash risk: Evidence from employee lawsuits. *International Review of Financial Analysis* 82, 102188. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102188>



Some Insights into the Scratch Resistance Assessment of Polycrystalline Diamond Coatings

¹Pusta Jalalova, ²Maria Berkes Maros

¹*University of Miskolc (UM), Faculty of Mechanical Engineering and Informatics, István Sályi Doctoral School, Miskolc, Hungary, jalalova.pusta@student.uni-miskolc.hu*

²*Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Faculty Research Organisation Centre, Budapest, Hungary, maros.maria@uni-obuda.hu*

Abstract

This study explores the scratch resistance and adhesion performance of polycrystalline diamond (PCD) coatings, crucial for their application in demanding industrial environments. Applying instrumented scratch testing, a practical, quick, cheap, and reliable test method, the adhesion strength of PCD coatings on steel substrate is assessed. Recognizing the limitations of the conventional scratch testing using a diamond stylus when applied for PCD coatings, a modification, namely the use of a stainless steel ball as a scratching tool, and its applicability for characterizing the scratch behavior of PCDs are discussed to offer a simpler and more economical way for tribological characterization of diamonds, the hardest, thus the most abrasive material in the nature.

Keywords: polycrystalline diamond, PCD, scratch test, steel ball stylus, critical load

1. Introduction

The ever-changing requirements of aerospace and manufacturing industries have increased the demand for innovative materials with excellent mechanical qualities in recent years. Diamond coatings have received considerable interest for their potential to improve the performance and lifespan of many engineering components. The high hardness of diamond grains in PCD coatings enables efficient cutting, enhancing productivity and reducing machining time. PCD coatings have a low friction coefficient, reducing friction and minimizing heat buildup during machining processes, which improves tool performance and dimensional accuracy. It also exhibits excellent resistance to chemical reactions, making it suitable for machining various materials, including non-ferrous metals, composites, and abrasive materials. The study of polycrystalline diamond coatings stands at the forefront of innovation, promising transformative solutions that align with the evolving needs of modern industries [1,2,3,4,5].

When evaluating whether polycrystalline diamond coatings are suitable for practical applications, their scratch resistance is a crucial criterion. Scratching is a widely observed form of wear, and it is essential to understand their complex reaction to such mechanical loadings to maximize their effectiveness. Various methodologies are employed to assess the adhesion characteristics of coatings [6]. Scratch testing is one of the most effective ways for determining the adherence of a hard and thin layer to a substrate [7,8] due to its reliability and simplicity. This procedure can be easily performed without specific specimen shape or preparation. Adhesion is interpreted when a critical normal load is attained at which the coating fails. Assuming the failure

mode is adhesive, the critical load is used to calculate the coating-substrate adhesion strength [9,10].

Scratch testing involves the movement of a conical indenter tip across the coating's surface, resulting in the creation of a groove. This is achieved by applying either a progressive or constant force perpendicular to the surface. The tangential force can be quantified during the test, and the scratch morphology is typically seen immediately or after the test [11]. The analysis of scratch test output data primarily involves identifying the critical load, L_c , at which the adhesion of the film is compromised, i.e., a clean removal of the coating from the substrate occurs [12]. It can be determined from the friction coefficient/loading force vs. scratching distance diagram recorded during the test.

The conventional scratch test – utilizing a Rockwell-C diamond stylus as the indenter – is a frequently employed method for characterizing the quality of hard coatings applied onto predominantly metallic substrates. This is primarily due to the test's relatively stable experimental configuration, straightforward operation, and representative outcomes. Nevertheless, in comparison to alternative mechanical testing techniques [13,14] its applicability has limitations in several circumstances. Failure modes during the testing of hard coatings on soft substrates appear at exceedingly low critical loads, providing challenges in terms of monitoring. In other instances, failure modes may be entirely undetectable. Further complications occur during the testing of ultra-hard diamond layers. The ideal geometry is disrupted due to the rapid abrading of the indenter's tip. Bearing balls were used in the scratch test as an alternative to the Rockwell-shaped indenter. This facilitates the modification of the indenter's material and contact radius, thereby influencing the formation of the tension field in the coating-substrate composite. Sander et al. [15] studied the modified scratch test and applied it on hard layers of CrN and TiN deposited on soft polymeric ASA (acrylonitrile styrene acrylate) substrates as well as on ultra-hard diamond layers on steel substrates. Another study was performed by Buijnsters et al. [16] for adhesion analysis of PCD films on molybdenum.

By synthesizing existing knowledge, this paper aims to study scratch resistance assessment of polycrystalline diamond coatings on steel substrate with a modified test method.

2. Materials and methods

PCD coatings with a uniform thickness of $\sim 11 \mu\text{m}$ were deposited on a steel substrate by chemical vapor deposition (CVD). The instrumented scratch tests were accomplished using a progressive loading in the 2-150 N range using an SP-15 Instrumented scratch tester (producer Sunplant Ltd., Miskolc, Hungary) with $d=3 \text{ mm}$ diameter steel ball indenters (Figure 1).



Figure 1. The SP-15 instrumented scratch tester

The applied test parameters are given in Table 1.

Table 1. Test parameters of the progressive loading scratch test

Test parameter	Nomination	Value
Minimum load	$F_{n, \min}$	2 N
Maximum load	$F_{n, \max}$	150 N
Load gradient	dF/ds	15 N/mm
Scratch length	L	10 mm
Scratching velocity	v	5 mm/min
Ball material	Steel, AISI 420; Q+T; d =3 mm	

The need for the repeated replacement of the damaged Rockwell diamond stylus after each measurement, as used in a standard scratch test, is accompanied by extremely high costs in the testing of polycrystalline diamond coatings. Therefore, we worked out another procedure using a stainless steel ball stylus to reduce these costs. The usual Rockwell-C diamond stylus applied during the conventional standard scratch test and the newly designed, custom-made scratch tool used in the current investigations are shown in Figure 2.

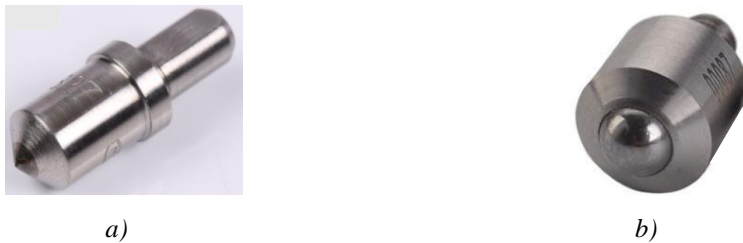


Figure 2. The standard Rockwell diamond stylus (a) and the novel steel ball stylus designed and applied in the experimental work

This method is much cheaper and allows us to replace the probe with a new, intact piece for each test at a reasonable cost.

2.1 Scratch tests with progressive load using a unique tool

When using the new steel ball stylus for the scratch test, the following aspects must be taken into consideration:

- For repeatable measurements and reliable results, the steel ball stylus must be replaced in each test.
- Commercially available styluses can't be disassembled. Therefore, a purposefully constructed tool holder for the ball stylus has been designed and manufactured at the Institute of Materials Science and Technology of UM.
- The design requirements for the ball holder were as follows:
 - quick replacement of the steel ball must be assured;
 - safe fixing the ball in the holder, preventing rotation during scratching is essential;
 - the dimensions of the tool shank should match the joining dimensions of the available scratch tester.

The essential features of the modified test method are the following:

- Using a ball-type stylus, this test represents a different contact geometry, contact pressure, and loading condition than the traditional one.
- Therefore, the results measured this way cannot be compared with those derived from the usual standard test method.
- However, it can serve as a quick and cheaper test for evaluating the effect of specific technological or geometrical parameters on the production of PCD coatings.

2.2 Test samples

Due to the high costs of the diamond coatings, the first trial tests reported here were performed on samples used previously for other mechanical tests by our German cooperative research partner at the Fridrich Alexander University, Erlangen-Nürnberg. The “recycled” samples, with visible damages from different investigations before the scratch test, are shown in Figure 3.

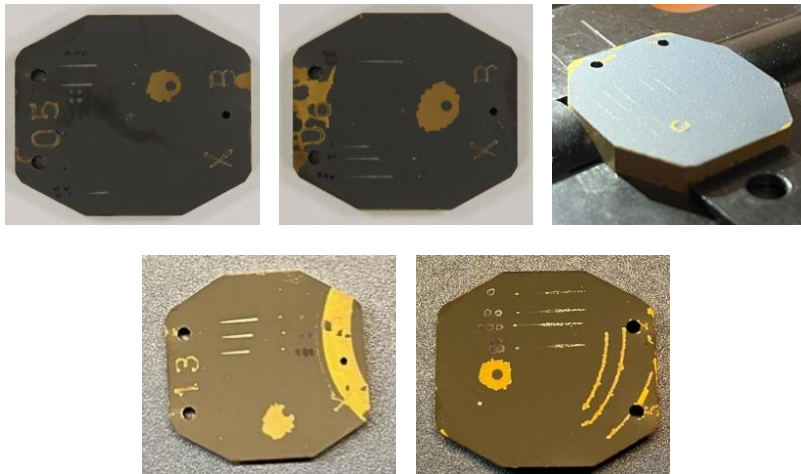


Figure 3. The recycled samples used in the trial scratch tests

The substrate material was an X46Cr13 (1.4034) martensitic stainless steel. The surface of the substrate was produced by ultrasonic vibration superimposed machining” (UVSM) process [17] simulating the particle-blasted pretreated surfaces used widely in the industry. The simulated particle blasted surface was characterized by the wavelength of the periodic topography λ (μm) and the structure height A (μm), which were approximated by the mean distance between roughness peaks, R_{sm} (μm), and the mean maximum roughness, R_z (μm) of the machined surface. The details on the sample processing and characterization are found in the work [17].

The coating has a double-layer architecture, with a $5\ \mu\text{m}$ TiBN interlayer between the substrate and the $11\ \mu\text{m}$ thick PCD top layer. TiBN was produced by CVD, and the polycrystalline diamond layer was made by HF-CVD with a coating temperature of $865\ ^\circ\text{C}$.

Five samples were tested, and five measurements were accomplished on each sample. The structural parameters of the samples are shown in (table 2). It should be mentioned that the coating roughness indicated in the table is not identical to the substrate roughness, but in most cases, they were closely similar.

Table 2. The main parameters of the coating process and surface roughness of the coatings

Sample number	Machined wavelength, λ [μm]	Structural height, A_{us} [μm]	Roughness of the coatings	
			R_a [μm]	R_z [μm]
DB05	25	5	1.11	4.98
DB06	25	5	0.96	4.17
DB08	35	5	1.84	12.03
DB12	35	5	1.96	12.67
DB13	25	5	1.13	2.61

3. Results

The scratch diagrams (Figure 4) present the connections of friction coefficient vs. scratching distance and loading force vs. scratching distance. From the character of the two representative friction coefficient curves displayed in the diagram, it is established that the applied $F=150\text{ N}$ force did not cause delamination due to good adhesion of the coating. Therefore, it is impossible to derive the critical force from the tests. However, the friction coefficient showed some correlation with the coating roughness, i.e., if the R_a value is increasing, the coefficient of friction – calculated as an average recorded on the last 10% of the scratch length – is also growing. The measured friction coefficient was $\mu=0.33$ and 0.37 for the DB06 and DB08 coatings, respectively, while their R_a values were 0.96 and 1.84 , respectively.

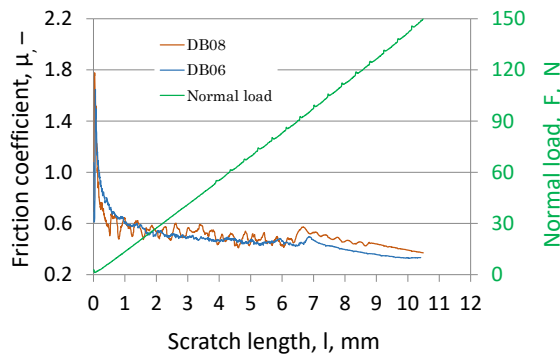


Figure 4. Scratch diagram

It should be underlined that these results have been derived from trial tests made on specimens previously used for other measurements. Therefore, the observations presented here are unsuitable for drawing well-founded conclusions or generalizations.

Scratch grooves on the DLC coating are difficult to reveal by optical microscopy. Still, transfer film of the stylus, i.e., steel ball origin along the scratch groove and some indication of the termination of the coating integrity could be observed in Figure 5 for the DB05 ($R_a=1.11\ \mu\text{m}$) and DB 06 ($R_a=0.96\ \mu\text{m}$) coatings.

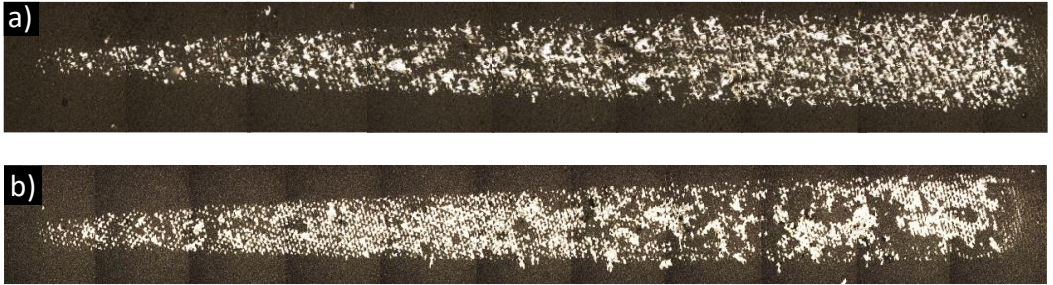


Figure 5. Scratch grooves obtained on the DB05 (a) and DB06 (b) samples

The OM photographs of the wear scar on the stainless steel ball show a high amount of adhered transfer film originating from the diamond with a surprisingly ordered pattern (Figure/a) resembling the surface texture of the diamond coating (Figure 6/b).

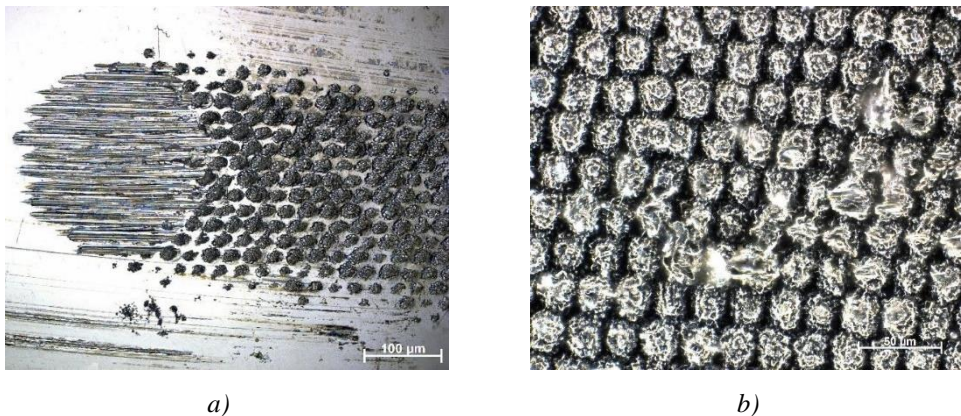


Figure 6. Optical micrograph of the wear scar on the steel-ball stylus with a high amount of adhered debris (a) and the surface texture of the initial PCD coating (b) show morphological similarity in the ordered location of diamond grains

4. Conclusion

An instrumented scratch test using a stainless steel ball stylus has been applied to investigate PCD diamond coatings. Trial tests were performed to justify the applicability of the test for polycrystalline diamond coatings. The main result of the research work is to demonstrate that scratch tests using a steel ball as a stylus can provide meaningful information on the scratch resistance of the PCD coatings under investigation.

The observed phenomena, such as the monotonically decreasing shape of the friction coefficient vs. scratch length curves or the relationship between the friction coefficient and the roughness of the PCD coating, are not yet suitable for general conclusions but must be confirmed and validated by further large-scale and systematic investigations. However, the information gained from the tests performed provides a sufficient basis for continuing the modified scratch tests presented here, representing a promising, cost-effective test procedure compared to conventional standard scratch tests using a diamond cone-stylus.

Acknowledgment

The authors thank the financial support provided by Grant No 2021_430912 in the framework of the Stipendium Hungaricum Scholarship Program.

We also acknowledge Professor Stefan Rosiwal and Maximilian Göltz at the Institute of Materials Science and Engineering for Metals of Friedrich Alexander University (FAU) for motivating and supporting us in research on these special PCD coatings.

- [1] Erdemir, A., & Martin, J. M. (2018). Superior wear resistance of diamond and DLC coatings. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 22(6), 243-254.
- [2] Simon, R. B., Anaya, J., Faily, F., Balmer, R., Williams, G. T., Twitchen, D. J., & Kuball, M. (2016). Effect of grain size of polycrystalline diamond on its heat spreading properties. *Applied Physics Express*, 9(6), 061302.
- [3] Gou, R., Luo, X., Li, K., Kang, C., & Chen, J. (2022). PCD after cobalt leaching reinforced by high temperature annealing: Tribological properties and graphitization evolution. *Diamond and Related Materials*
- [4] Chen, Y., Zhang, L. C., Arsecularatne, J. A., & Montross, C. (2006). Polishing of polycrystalline diamond by the technique of dynamic friction, part 1: Prediction of the interface temperature rise. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(6), 580-587.
- [5] Zhao, Y., Yue, W., Lin, F., Wang, C., & Wu, Z. (2015). Friction and wear behaviors of polycrystalline diamond under vacuum conditions. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 50, 43-52.
- [6] Perry, A. J. (1983). Scratch adhesion testing of hard coatings. *Thin solid films*, 107(2), 167-180
- [7] Gissler, W., & Jehn, H. A. (Eds.). (1992). *Advanced techniques for surface engineering* (Vol. 14658). Springer Science & Business Media
- [8] Ollendorf, H., & Schneider, D. (1999). A comparative study of adhesion test methods for hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 113(1-2), 86-102
- [9] Jaworski, R., Pawlowski, L., Roudet, F., Kozerski, S., & Petit, F. (2008). Characterization of mechanical properties of suspension plasma sprayed TiO₂ coatings using scratch test. *Surface and Coatings Technology*, 202(12), 2644-2653
- [10] Nakao, S., Kim, J., Choi, J., Miyagawa, S., Miyagawa, Y., & Ikeyama, M. (2007). Micro-scratch test of DLC films on Si substrates prepared by bipolar-type plasma based ion implantation. *Surface and Coatings Technology*, 201(19-20), 8334-8338
- [11] Lu, P., Xiao, X., Lukitsch, M., Sachdev, A., & Chou, Y. K. (2011). Interface characterizations of diamond-coated tools by scratch testing and simulations. *Surface and Coatings Technology*, 206(7), 1860-1866
- [12] Davanloo, F., Collins, C. B., & Koivusaari, K. J. (1999). Scratch adhesion testing of nanophase diamond coatings on steel and carbide substrates. *Journal of materials research*, 14(8), 3474-3482.
- [13] Ollendorf, H., & Schneider, D. (1999). A comparative study of adhesion test methods for hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 113(1-2), 86-102.

- [14] Steinmann, P. A., & Hintermann, H. E. (1989). A review of the mechanical tests for assessment of thin-film adhesion. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 7(3), 2267-2272.
- [15] Sander, T., Tremmel, S., & Wartzack, S. (2011). A modified scratch test for the mechanical characterization of scratch resistance and adhesion of thin hard coatings on soft substrates. *Surface and coatings technology*, 206(7), 1873-1878.
- [16] Buijnsters, J. G., Shankar, P., Van Enkevort, W. J. P., Schermer, J. J., & Ter Meulen, J. J. (2005). Adhesion analysis of polycrystalline diamond films on molybdenum by means of scratch, indentation and sand abrasion testing. *Thin Solid Films*, 474(1-2), 186-196
- [17] Göltz, M., Helmreich, T., Börner, R., Kupfer, T., Schubert, A., & Rosiwal, S. (2023). Spatial distribution of thermally induced residual stresses in HF-CVD diamond coatings on microstructured steel surfaces, *Diamond and Related Materials*, 136, 109931.



Effect of loading conditions on the scratching behaviour of a TiBN and different DLC top-layered coatings applied on X210Cr12 cold work tool steel

¹Fruzsina Fülöp, ²Maria Berkes Maros

¹Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Doctoral School on Materials Sciences and Technologies Budapest, Hungary, fulop.fruzsina@phd.uni-obuda.hu

²Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Faculty Research Organisation Centre, Budapest, Hungary, maros.maria@uni-obuda.hu

Abstract

Coatings and coated tools are more and more commonly used in the automotive industry due to their performance-increasing ability. During their application, they have to perform good tribological resistance, including scratch resistance, which may be influenced by many factors such as loading force, type of coating, etc. In the current research work, we investigated the scratching behaviour of four different industrially applied wear-resistant coatings – TiBN, TiBN+DLC, TiAlN+DLC, and CrN+DLC – under different constant loadings of $F = 10, 15, 50,$ and 100 N. Based on the obtained results, we established that the monolayer TiBN has a higher resistance to scratch loading than the DLC top-coated systems. Morphological failure analysis revealed that the damage mechanism of the multilayer coatings with different sublayers is dominated by the DLC top layer independently of the type of underlayers.

Keywords: wear-resistant coating, TiBN, DLC, scratch test, tribology

1. Introduction

The automotive industry is at the forefront of technical innovation, requiring constant improvements in manufacturing technologies and materials to meet the always-changing sustainability, efficiency, and performance criteria. Tool steels are essential to the industry's success since they are used in the shaping, forming, and moulding of different automotive parts. However, the durability and effectiveness of these tool steels could be deteriorated by severe operating circumstances, which include high temperatures, abrasion, and corrosive environments. Hard coatings on the tool surfaces may enhance the resistance to wear and corrosion, optimising the frictional behaviour and benefiting the overall durability of tools.

Recent advancements in coating technologies have witnessed the integration of nanomaterials, such as nanostructured carbides and nitrides, further enhancing the hardness and wear resistance of tool steels [1]. Additionally, innovations in deposition technologies, including Physical Vapor Deposition (PVD) [2] and Chemical Vapor Deposition (CVD) [3] or the combination of the two, Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition (PACVD) [4], have enabled the precise control of coating thickness and composition, allowing for the optimisation of performance characteristics.

1.1 Monolayered coatings

The automotive industry increasingly implements monolayered coatings on tools because of their exceptional wear resistance, low friction, and outstanding corrosion resistance, which is essential during cutting and shaping. Titanium nitride (TiN), titanium carbonitride (TiCN), aluminium nitride (AlN), aluminium carbonitride (AlCN), etc. coatings have been commonly used in the automotive industry to enhance the performance and durability of tool steels and to improve their ability to withstand corrosion and oxidation, which is vital in the demanding operating conditions of the automotive industry. They are applied to the tool's surface by PVD or CVD processes.

1.2 DLC coatings

Diamond-like carbon coatings are types of amorphous carbon film that have characteristics similar to both diamond and graphite. These coatings consist of carbon atoms hybridised in sp^2 and sp^3 configurations, giving them exceptional hardness, resistance to wear, and, depending on the loading conditions, extremely low friction properties. In addition, they have chemical inertness and exceptional adherence to different substrates. These features render them exceedingly sought-after for automotive applications and are utilised to improve durability, minimise frictional losses, and promote fuel efficiency across diverse components. DLC coatings are well-suited for protecting surfaces exposed to severe circumstances, such as engine components, gearbox parts, and fuel system elements. DLC coatings are typically used in a multilayer rather than a monolayer structure, where an intermediate layer is applied on the substrate below the DLC top layer. The purpose of the intermediate layer is to provide a transition between the substrate's lower hardness and the DLC topcoat's significantly higher hardness.

1.3 Multilayered coatings

The typical structure of the multilayered ceramic coatings comprises several layers of ceramic materials, each with unique qualities customised for the intended application. The primary advance of this architecture consists in decreasing the high gradient of the mechanical and thermal characteristics between the metallic substrate and ceramic coating. The composition of the different layers may consist of oxides, nitrides, and carbides, offering a diverse framework for optimising hardness, thermal conductivity, and chemical resistance. The purposeful arrangement of these layers enhances the general effectiveness of the coating.

2. Experimental work

2.1 Base material

The base material of the tested samples was K100 steel. The EN number of the cold-forming tool steel with a ledeburitic microstructure is X210Cr12, indicating that it's a highly alloyed steel with a 12% chromium content (Table 1.)

Table 1. Chemical composition of K100 tool steel in weight% [5]

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Other
2.00	0.25	0.35	11.50	–	–	–	–	–

Due to the high chromium carbide content, it has good corrosion and wear resistance, which allows it to be used for plastic-forming tools, such as punches and dies, cut-off tools, stamps, pressing and hole flanging tools, or moulds.

2.2 Investigated coatings and test procedure

In the current research work, four different types of coatings, which are commonly used in the automotive industry, have been investigated: a monolayered TiBN coating and three different DLC top-layered coatings, i.e. TiBN+DLC, TiAlN+DLC, CrN+DLC. In the case of each multilayered coating, there is a thin WC transfer layer between the underlayer and the top functional DLC layer.

Instrumented scratch tests with different constant loading forces have been performed to evaluate the tribological performance of the coatings. The basis of ranking the investigated coatings was the critical loading force causing the total delamination of the coating layer while considering the subcritical damage mechanisms, as well. The layer thickness of the coatings was measured by the ball cratering (Calotest) method.

In terms of tribological behaviour, there is a complex relationship between the thickness of the coating and certain characteristics such as residual stress, adhesion, or hardness [6]. The total layer thickness and the thickness of the different underlayers may influence the tribological performance.

During the Calotest method, a $\phi 30$ mm hardened steel ball was used as a wearing tool, rotating with a speed of 3000 1/min for 3 minutes at each measurement. The diameters of the created craters were then measured using optical microscopy. The measured layer thickness values are compared in Figure 1.

The lowest (4.23 μm) layer thickness was obtained for the single-layer TiBN coating, while the highest (7.91 μm) layer thickness was measured for the TiBN+DLC coating system. The average thickness of the TiAlN+DLC and CrN+DLC coating systems were similar, 6.78 μm and 6.14 μm , respectively. The average thickness of the DLC overlay coatings was 2.96 μm for all coating types. Compared to the DLC top coatings, the thickness of the individual single-layer TiBN coatings was lower by $\sim 1.9\text{-}3.7$ μm .

The results of the Calotest clearly show that the WC-Co layer is a thin underlayer for all DLC coating systems, which – despite the small thickness – provides the proper adhesion of the DLC and supports it under mechanical stress.

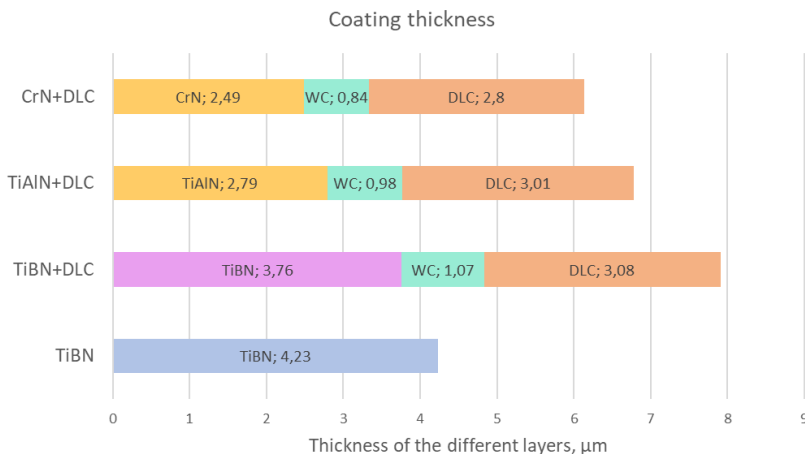


Figure 1. Layer thickness of the tested coatings measured by the ball cratering method

2.3 Constant load scratch test

The most widely used method for testing the adhesion of wear-resistant coatings is scratch testing, which has been used since the 1970s to evaluate and compare the tribological performance of the different PVD and CVD coatings.

Scratch tests are usually performed by applying an increasing or constant load. The test procedure is governed by the ASTM Standard G171 (03). The primary information derived from these tests is the critical normal load leading to the total failure (i.e. delamination) of the coating. Microscopic examination of the scratch produced on the coated surface can provide additional information on the measure and mechanism of the coating’s damage. The ASTM C1624 standard represents useful guidance providing a uniform basis for the interpretation and designation of the subsequent damages [7,8].

We have completed the measurements with four different loading forces, i.e. $F = 10, 15, 50,$ and 100 N , while the specimen holder table travel speed was $v = 5\text{ mm/min}$, identical for each test.

The friction coefficient – scratch length diagrams obtained for 10 and 15 N normal loads are shown in Figure 2.

The curves of the individual coatings overlap and show no significant difference. However, for both loadings, the highest friction coefficient was obtained in the TiAlN+DLC coating. It can also be established that the steady-state friction coefficient values were systematically lower for the higher normal load ($F=15\text{ N}$) cases. Namely, it was $\mu \sim 0,3$ for $F=10\text{ N}$ while $\mu \sim 0,23$ for $F=15\text{ N}$ loading.

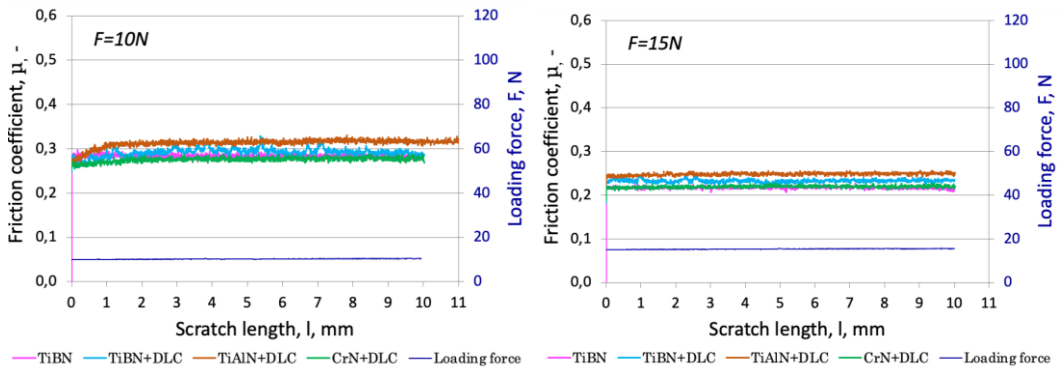
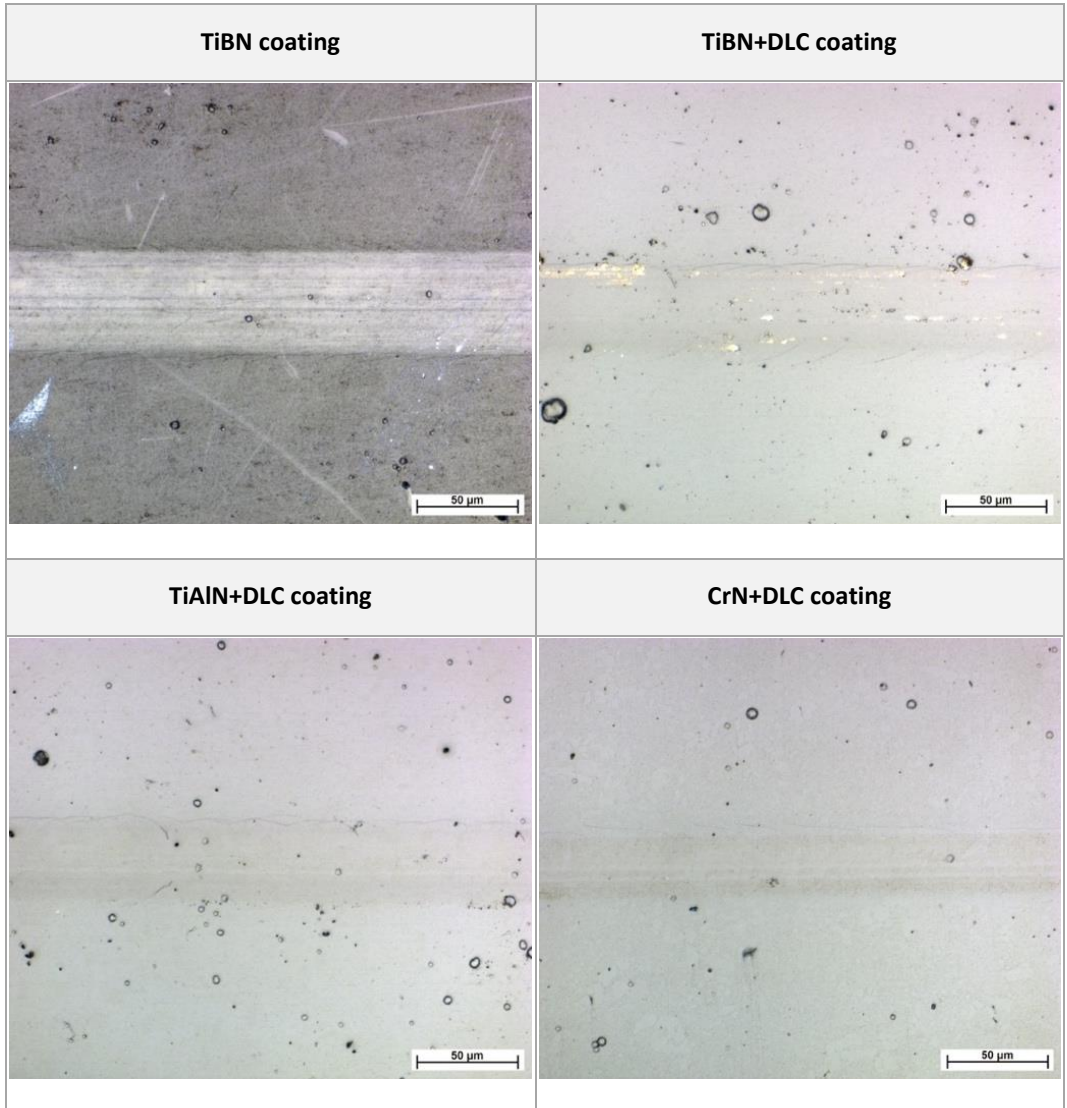


Figure 2. μ and F vs. l diagram of the investigated coatings for a constant normal load of $F = 10\text{ N}$ (left) and $F = 15\text{ N}$ (right)

The optical microscopic images of the scratches created by the 10 N loading force are shown in Table 2. In contrast, micrographs illustrating the scratches produced by $F = 15$ normal loads are shown in Table 3.

Analysing these images, it can be established that in the case of $F = 10\text{ N}$ constant load, the TiBN-coated sample showed no functional damage, while this loading caused partial tensile cracking, which appeared for each DLC top-coated sample. The characteristic of such damage is the 45° angle between the axis of the cracks and the scratch groove.

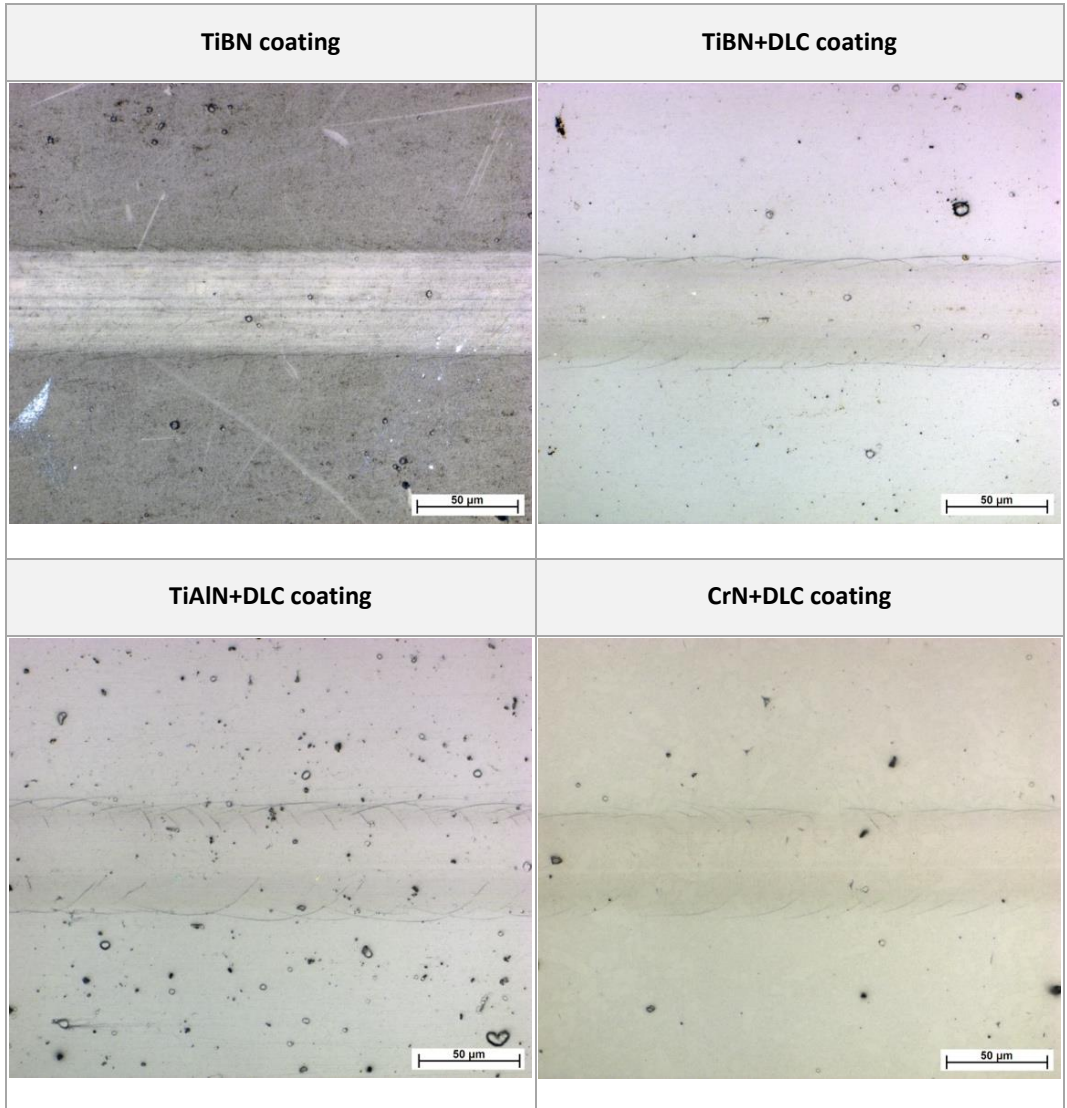
Visualising such minor injuries by optical microscopy is difficult since these damages occur at loadings well below the critical one.

Table 2. Analysis of the damage mechanisms of the coatings at $F = 10\text{ N}$ loading force

Increasing the loading force from 10 N to 15 N resulted in no considerable changes in the scratching behaviour of the TiBN coating; only a slight indication of lateral crack formation is worth mentioning. Besides, as experienced before, partial tensile cracking was observed for the TiAlN+DLC coating system. In contrast, the damage was more expressed in the case of the TiBN+DLC and CrN+DLC coatings, where continuous tensile cracks could be seen on the two sides of the scratch grooves.

Based on the morphological analysis of the scratches created by 15 N constant loading, we can conclude that the failure is still subcritical, while the extent of damage on the DLC top-layered coatings is visibly higher.

Table 3. Analysis of the damage mechanisms of the coatings at $F = 15\text{ N}$ loading force



Increasing the loading force further up to $F = 50\text{ N}$, the friction coefficient values continued to decrease slightly, having the average values close to $\mu = 0.2$, as shown in Figure.

Another difference in the friction behaviour for this loading was observed in the case of the TiBN+DLC and TiAlN+DLC coatings, where the friction coefficient showed a significant fluctuation that was not typical for smaller loadings.

The character of the related μ - l curves indicates that the integrity of the coating started to be loose, and the debris accumulating in the scratch grooves ahead of the stylus obstructs the continuous progress of the tool motion and causes a local increase in the coefficient of friction.

Figure 3 also provides information on the friction coefficients registered in the case of the highest, i.e. $F = 100\text{ N}$ normal load, displaying μ values being strikingly higher for all investigated coatings compared to the previously demonstrated lower loading cases.

Analysing these μ - l curves, it is seen that the friction coefficient values rapidly increase in the initial stages of the scratching operation. The range of the friction coefficient falling between $0.45 \div 0.55$ suggests that the coatings suffer total delamination at an early stage of the scratch test, and the stylus penetrates the metallic substrate, deforming it plastically.

From these scratching diagrams obtained for the $F = 50$ and 100 N, it can also be concluded that the critical load falls between these values.

The usual method of finding the F_{crit} during constant load scratch test is to refine the load increments until we can find the highest load that does not yet cause coating separation from the substrate while finding the lowest load that already leads to complete damage to the coating.

It is evident that this critical parameter is easier to find in a test with an increasing loading force regime; however, the identification of typical damage modes occurring at a given load can be done with much higher reliability during constant loading tests.

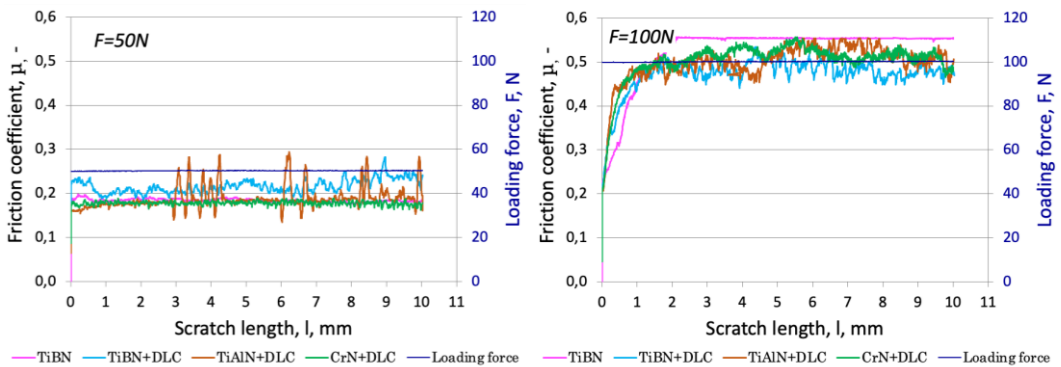


Figure 3. The μ and F vs. l diagrams of the investigated coatings for $F = 50$ N (left) and $F = 100$ N (right) constant normal loads

The microscopic pictures of the typical damage mechanisms of the coatings caused by the $F = 50$ N load are summarised in Table 4.

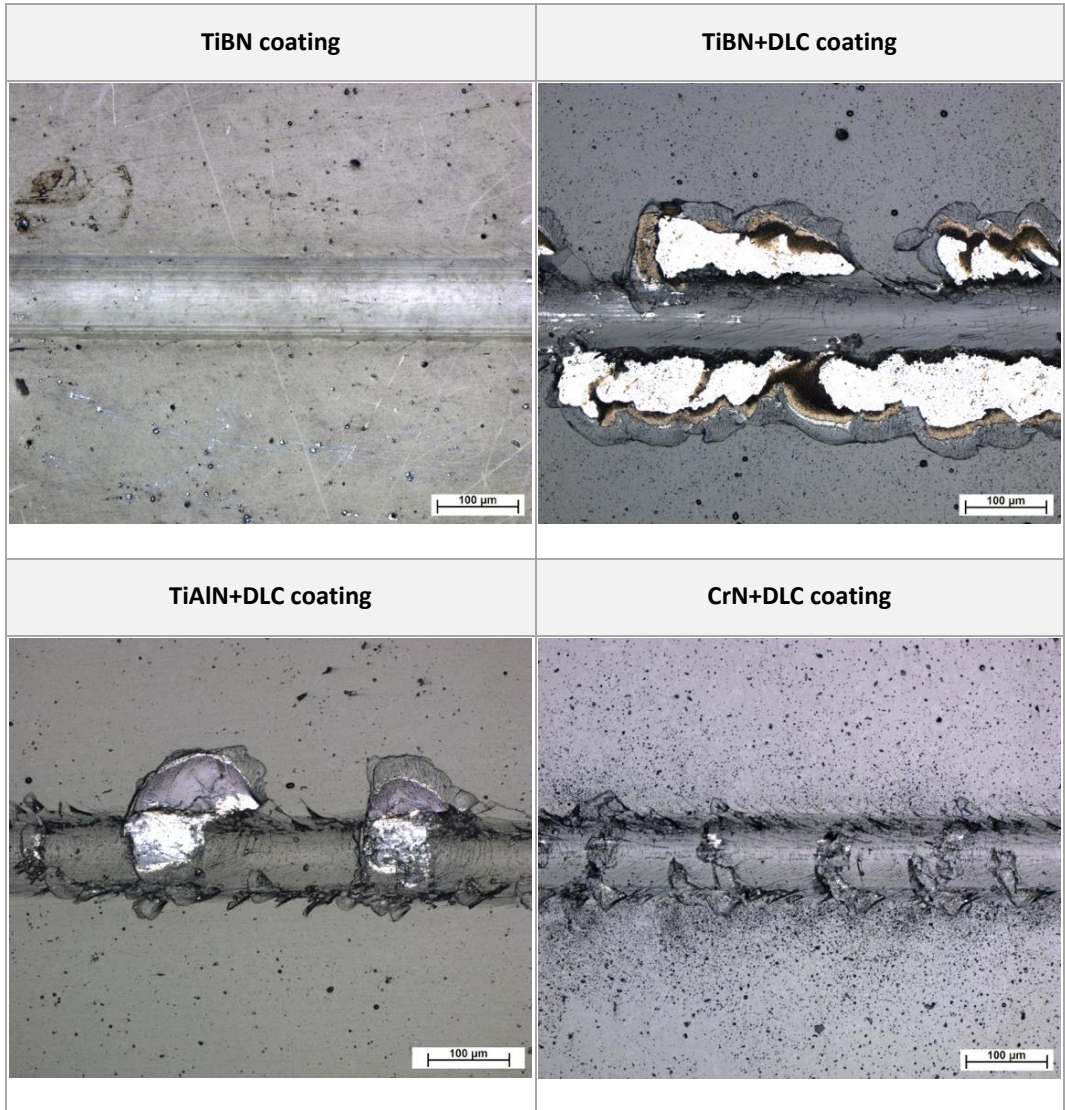
In the monolayered TiBN coating, clear and definite lateral cracks can be recognised along the scratch path with a slight indication of partial recovery spallation.

In contrast, wedging spallation was observed at this loading for all tested multilayered DLC coatings. Still, the measure of the damage was different for the DLC top layered coatings depending on the type of the supporting layer.

At the highest, i.e. $F = 100$ N normal load, the monolayered TiBN still showed the best scratch resistance with the damage mechanisms of complete recovery spallation and buckling spallation (Table 5.).

Under the $F = 100$ N load, all the DLC topcoat systems delaminated from the substrate, but the degree of damage was different, which allows for ranking of the multilayer coatings in terms of scratch resistance. The extent of the spalled regions on the two sides of the scratch groove was the highest in TiBN+DLC multilayered coatings. However, the integrity of the coating in the scratch groove was kept to the best. The minor extension of the spalled local region appeared in the case of the CrN+DLC coating, but in this case, the frequency of the spallation was the highest.

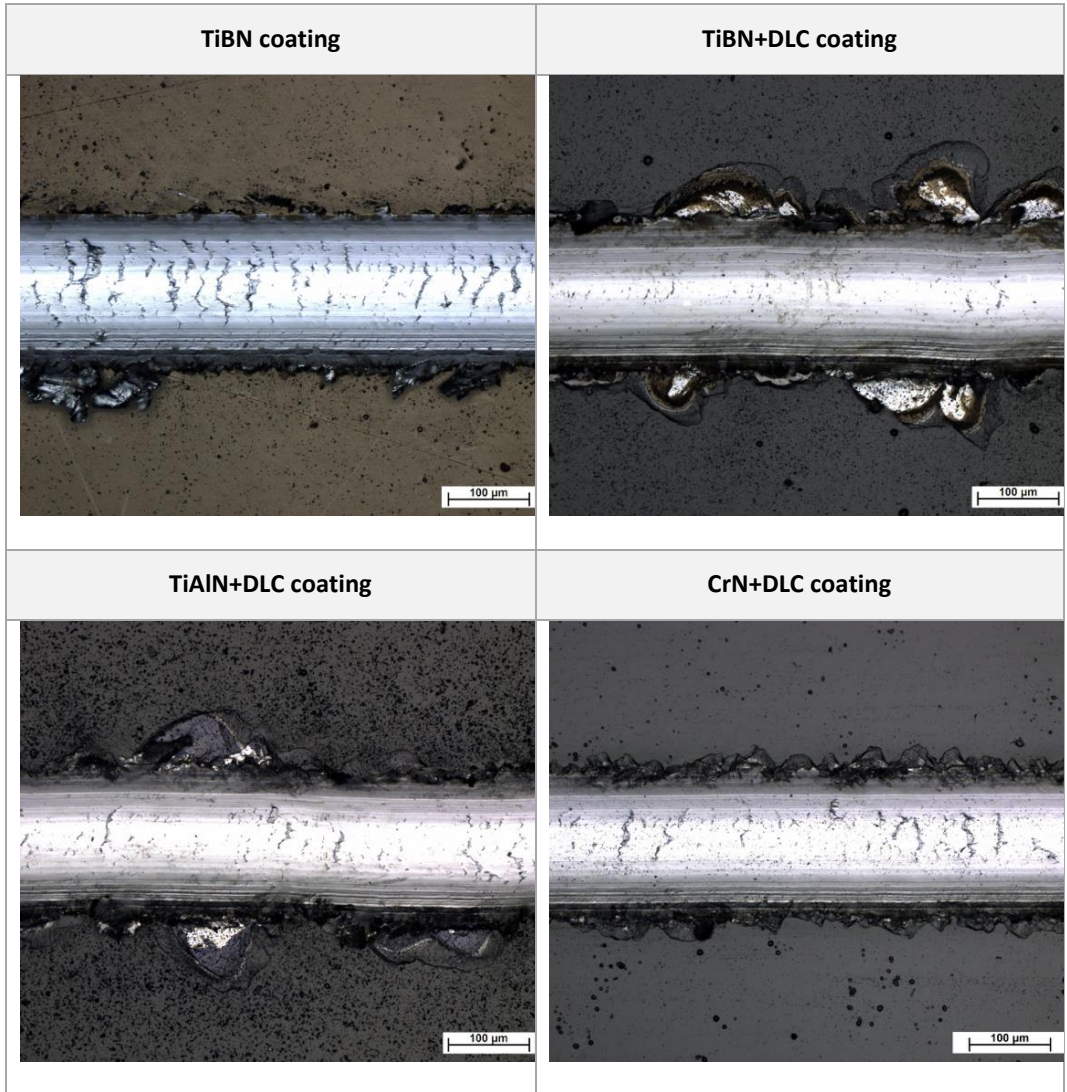
Table 4. Analysis of the damage mechanisms of the coatings at $F = 50\text{ N}$ loading force



From the above analysis, it is seen that evaluating the mode and severity of the failure needs a careful and complex evaluation process, with attention to several aspects (friction coefficient area, etc.). Therefore, a complete and reliable analysis usually needs microscopic analysis applying visualisation techniques of higher resolution, e.g. fractography using scanning electron microscopy.

Another direction of the scratch morphology analysis is represented by the visualisation of the scratch groove by 2D and 3D profilometry, providing additional qualitative and quantitative information on the characteristic scratch behaviour of the investigated coating systems.

It is also important to mention that the different coatings can possess very different residual stress conditions, highly influencing the scratch behaviour. Therefore, determining their magnitude and nature (tensile, compressive) and analysing their effect must comprise a part of a more comprehensive scratch test evaluation.

Table 5. Analysis of the damage mechanisms of the coatings at $F = 100\text{ N}$ loading force

3. Summary

Due to their performance-improving ability, the automotive industry increasingly uses different mono- and multilayered coatings on structural parts and tools. These coatings have several functions, including enhancing resistance to wear, scratch, and corrosion or optimising friction behaviour.

In the current work, we investigated the scratching behaviour of industrially produced and widely applied coatings: a monolayer TiBN coating and three DLC top-layered multilayer coatings with sublayers of TiBN, CrN, and TiAlN. During the constant load scratch test, we applied normal loads of $F = 10, 15, 50,$ and 100 N .

The most important establishments of the research work can be summarised as follows:

- 1) The coating thickness, measured by the ball-cratering method, was the highest for the

TiBN+DLC multilayered system, which may impact the observed most advantageous performance of this coating under scratch-type loadings in the applied load range.

- 2) The friction coefficient decreases from 0.3 to 0.2 for each tested coating system with the increase of the normal load from 10 to 50 N, while for $F = 100 \text{ N}$ μ increases to 0.45- 0.55.
- 3) The critical average load causing the total delamination of the coatings falls into the range of $F = 50\text{-}100 \text{ N}$, excepting the TiBN coating, for which the expected F_{crit} value exceeds the upper limit of the applied load range.
- 4) Morphological analysis of the scratch grooves revealed different damage mechanisms for the TiBN coating compared to the DLC top-coated systems. Under lower (10, 15 N) loadings, each coating showed partial tensile cracking to a different extent, but the most minor damage was experienced for the TiBN monolayer coating. In the case of the DLC top-layered systems, the type of damage was supplemented by partial and complete tensile cracking, becoming more severe when the loading force was increased to 50 and 100 N. At the highest load ($F=100 \text{ N}$), complete recovery spallation and buckling spallation occurred in TiBN coating, while TiAlN+DLC and CrN+DLC coatings suffered from total failure.
- 5) A given loading force caused different failure modes in the different coatings. However, the similarity of scratch damage mechanisms of the DLC top layered coatings indicates the dominance of the DLC layer in the multilayered system regarding the failure mode.

The direction of the future work is the analysis of the effect of residual stresses on the scratching behaviour of the tested coatings and profilometry analysis to obtain further qualitative and quantitative features of the scratching behaviour of these coatings.

4. References

- [1] Phuong, N. T., Sami R., & Caudiane, M. Q. P. (2019). Nanomaterials-Based Coatings, Fundamentals and Applications, Chapter 9. – Hard and superhard nanostructured and nanocomposite coatings, ISBN: 978-0-12-815884-5, 237-337.
- [2] Deng, Y., Chen, W., Li, B., Wang, C., Kuang, T., & Li, Y. (2020). Physical vapor deposition technology for coated cutting tools: A review. *Ceramics International*. doi:10.1016/j.ceramint.2020.04.168
- [3] Makhlof, A. S. H. (2011). Current and advanced coating technologies for industrial applications. *Nanocoatings and Ultra-Thin Films*, 3–23. doi:10.1533/9780857094902.1.3
- [4] Sharifahmadian, O., & Mahboubi, F. (2019). A comparative study of microstructural and tribological properties of N-DLC/DLC double layer and single layer coatings deposited by DC-pulsed PACVD process. *Ceramics International*, 45(6), 7736–7742. doi:10.1016/j.ceramint.
- [5] Böhler Voestalpine Hungary, K100 datasheet, <https://www.boehler.hu/hu/products/k100/>
- [6] Jennett, N. M. & Gee, M. G. (2006). Mechanical testing of coatings, In: Mellor, B. G. (Ed.), *Surface coatings for protection against wear*, Woodhead Publishing, Cambridge, p448.
- [7] ASTM Standard G171-03 (2017) – Standard Test Method for Scratch Hardness of Materials Using a Diamond Stylus
- [8] ASTM C1624-05 (2015) Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing



Improving workforce deployment in fruit buying stations: A fuzzy decision-making framework

¹Nikola Komatina, ²Aleksandar Aleksić, ³Snežana Nestić

¹University of Kragujevac, Faculty of Engineering, Kragujevac, Serbia, nkomatina@kg.ac.rs

²University of Kragujevac, Faculty of Engineering, Kragujevac, Serbia, aaleksic@kg.ac.rs

³University of Kragujevac, Faculty of Engineering, Kragujevac, Serbia, s.nestic@kg.ac.rs

Abstract

The problem of scheduling workers is a real problem in workplaces where the time of execution of work operations and tasks does not play a decisive role. In the proposed model, it was taken into account that the considered criteria do not have equal relative importance. The Fuzzy Analytical Hierarchy Process method was used to determine the relative importance of the criteria. In addition, the Fuzzy Linear Programming method was used to optimize the scheduling of workers at workplaces. The decision maker used pre-defined linguistic expressions modelled by triangular fuzzy numbers to express his assessments, both when assessing the relative importance of the criteria, and when assessing the value of each workplace according to each criterion. The model developed in this paper was tested on an example from practice, that is, on a company dealing with the purchase and processing of fruit.

Keywords: scheduling, fruit processing industry, Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Fuzzy Linear Programming, triangular fuzzy numbers

1. Introduction

Scheduling problem optimization is often analyzed in the relevant literature. Thus, the authors solved problems in different domains [1,2]. Many proposed models in the literature are based on accurate data, time measurement, and analysis of the operations being performed. However, when it comes to variable and difficult physical jobs, such as the work at the buying station for receiving fruit, factors such as time and the number of repetitions of operations are not always relevant when defining the strategy of the worker's schedule. The employment of workers in such a workplace depends on numerous factors, such as the amount of goods received, weather conditions, the time provided for delivery, etc. Precisely, these facts can be highlighted as the motivation for research.

In this paper, a model that can be applied to the same or similar problem type was presented. The model developed in this paper proposes a new way to solve the problem of worker scheduling, using the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and Fuzzy Linear Programming (FLP). All uncertainties that exist in the considered problem are modelled using triangular fuzzy numbers (TFNs). The AHP method [3], extended with triangular fuzzy numbers [4,5], was used to determine the relative importance of the criteria. The input data used to construct the fuzzy decision matrix was obtained by the decision maker, using pre-defined linguistic expressions, also modelled by TFNs. The final schedule of workers at workplaces is determined using FLP for different numbers of total available workers.

The main objective of this paper is to define a simple model for solving the workers' scheduling problem at workplaces where work measurement does not provide satisfactory and representative

results. This objective can be presented through the implementation of several sub-objectives: 1) determination of criteria based on which the work of workers is analyzed, 2) involvement of managers in the process of solving scheduling problems, 3) application of the FAHP method for determining the relative importance of criteria in the considered problem, and 4) application the FLP for determining the optimal number of workers at each considered workplace.

The rest of the paper is organized as follows: in section 2, a literature review of previous research is given. In the third section, the used methodology is presented. In section 4, the proposed algorithm for solving the considered problem is given, while the case study is presented in section 5. In the sixth section, the conclusions of this research are given.

2. Literature review and methodology

The methodology used in this paper found its application in solving numerous research and optimization problems. FAHP, as one of the most frequently used fuzzy multi-attributive decision-making methods, has so far been applied in many domains, mostly for determining the relative importance of criteria [6,7]. When it comes to the domain of fuzzy numbers, the scale [1-9] is most often used, which is analogous to the traditional AHP method [3]. Also, the number of considered criteria varies depending on the type of problem. In most of the papers, as well as in this research, three criteria were analyzed.

Linear Programming (LP) is a very useful tool for solving small-dimension optimization problems. It is often used in literature and different scheduling problems were solved using this method [8]. Also, Fuzzy Linear Programming has found its application in practice [9], but for solving scheduling problems it is rarely used in the literature, as is the case in [10].

In the literature, there are papers in which the optimization model is based on a combination of FAHP and FLP [7,11]. The type of problem considered in this paper has not been solved using a similar methodological approach. This is one of the motives for applying the proposed methodology to a problem that is very common in practice, and which has not been adequately treated in the literature so far.

The proposed model consists of three parts. In the first part, uncertainty modelling is performed and a set of considered criteria is defined. In the second part of the model, the FAHP method is applied to determine the relative importance of the criteria, and after that, in the third part, FLP is used to determine the optimal number of workers in the considered workplaces.

In this paper, the problem of work optimization, i.e., the allocation of workers at different workplaces, $s, s = 1, \dots, S$, at the buying station for receiving fruit, is solved. In this case, s represents the index of the considered workplace, and S is the total number of considered workplaces. The proposed model is based on respecting criteria, $k, k = 1, \dots, K$, where k represents the index of the considered criterion and K represents the total number of considered criteria.

The work measurement option, in this case, would not bring satisfactory results, because the scope of work is complex, and the operations are not always identical. For an easier understanding of the considered problem, below is a short notation and description of the expressions used. \tilde{w}_k is the relative importance of the considered criterion, $k, k = 1, \dots, K$. The decision matrix, where the considered workplaces are evaluated, $s, s = 1, \dots, S$, according to each considered criterion, $k, k = 1, \dots, K$, is denoted as $[\tilde{M}_{sk}]_{S \times K}$. The weighted decision matrix is denoted as $[\tilde{O}_{sk}]_{S \times K}$. The linguistic expressions used to assess the relative importance of criteria are:

Equally important, Q_1 (1, 1, 1)

Slightly more important, Q_2 (1, 1, 3.5)

Moderately more important, Q_3 (1.5, 3, 4.5)

Much more important, Q_4 (2.5, 5, 7.5)

Extremely more important, Q_5 (5.5, 7, 8.5)

Absolutely more important, Q_6 (6.5, 9, 9)

To assess the value of each workplace according to each criterion, the linguistic expressions shown in Table 1 were used. These expressions were also modelled by using TFNs.

Table 1. Linguistic expressions used for the assessment

The time required to perform an operation	Physical effort at the considered workplace	Exposure to working environment conditions	TFN
Very short period of time, T_1	Very low physical effort, E_1	Favorable working environment conditions, C_1	(1, 1, 3)
Short period of time, T_2	Low physical effort, E_2	Almost always favorable working environment conditions, C_2	(2, 4, 6)
Medium long period of time, T_3	Moderate physical effort, E_3	Changing working environment conditions, C_3	(3, 5, 7)
Long period of time, T_4	High physical effort, E_4	Bad working environment conditions, C_4	(4, 6, 8)
Very long period of time, T_5	Extreme physical effort, E_5	Very bad working environment conditions, C_5	(7, 9, 9)

All mathematical operations with TFNs in this paper were performed according to [12]. Linguistic expressions were modelled based on the experience and knowledge of the participants in this research, as well as based on the nature of the considered problem.

3. The proposed algorithm

The steps of the proposed algorithm can be presented as follows:

Step 1. Fuzzy pair-wise comparison matrix for determining the relative importance of criteria, $k, k = 1, \dots, K$. The assessment is made by the manager of the buying station using pre-defined linguistic expressions:

$$[\tilde{W}_{kk'}]_{K \times K} \tag{1}$$

where $k, k' = 1, \dots, K; k \neq k'$.

Step 2. Checking the consistency of the assessments made in Step 1. First, it is necessary to defuzzify the pair-wise comparison matrix $[\tilde{W}_{kk'}]_{K \times K}$ [13]:

$$[W_{kk'}]_{K \times K} = defuzzified [\tilde{W}_{kk'}]_{K \times K} \tag{2}$$

where $k, k' = 1, \dots, K; k \neq k'$.

After that, the consistency check is performed using the Eigenvector method [3]. Decision makers' assessments are considered to be consistent if $CI \leq 0.1$.

Step 3. Determination of weights vector of each considered criterion, $k, k = 1, \dots, K$, by using fuzzy algebra rules [12]:

$$\tilde{w}_k = (w_{kl}, w_{km}, w_{kn}) \tag{3}$$

where w_{kl} is a lower value of fuzzy number membership function, w_{km} is a modal value of the fuzzy

number membership function, $i w_{kn}$ is an upper value of the fuzzy number membership function.

Step 4. Constructing the fuzzy decision matrix:

$$[\tilde{M}_{sk}]_{S \times K} \quad (4)$$

As assessments of the relative importance of the criteria, these assessments were made by the manager of the buying station.

Step 5. Constructing the fuzzy weighted decision matrix:

$$[\tilde{O}_{sk}]_{S \times K} = [\tilde{M}_{sk}]_{S \times K} \cdot \tilde{w}_k \quad (5)$$

Step 6. Setting up the FLP model:

Objective function:

$$\max \{z\} \quad (6)$$

subject to:

$$\frac{X_s}{\prod_{k=1}^K \tilde{O}_{sk}} \geq z \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^S X_s = N \quad (8)$$

$$X_s \geq 1 \quad (9)$$

where N is the total available number of workers at the buying station, and X_s is the number of workers in the considered workplace. Both, N and X_s are integer values.

Step 7. Defining the schedule of workers for different scenarios, i.e. at different values of N .

4. Case study and results

The research conducted in this paper is based on real-life data originating from a company that deals with the purchase, processing, and sale of fruit and fruit products. The headquarters of the company is located in the territory of western Serbia. The main resource that the company uses in production is raspberries. The problem that the company faces during the raspberry harvest is the scheduling of seasonal workers. In addition to the 40 to 50 workers that the company has throughout the year, it is necessary to hire seasonal workers during this period. The biggest problem is the buying station itself, where the fruit is received, measured, and further distributed.

Therefore, the main part of the work in the purchase of raspberries goes to the workers who: unload the goods from cargo vehicles and transport them to the weighing scale ($s = 1$), staff who weigh and issue a receipt for the purchased goods ($s = 2$), workers who transport purchased and measured goods to temporary storage, transport machines to refrigerators ($s = 3$), workers who pack goods in temporary storage, transport machines or refrigerators ($s = 4$), workers who wash, sort and empty packaging deliver to producers, which uses packaging for the next harvest ($s = 5$), and workers who drive forklifts and other work machines ($s = 6$). In this research, workers who are responsible for the production and packaging of final products are not considered. The need for workers at the buying station is exclusively considered. The company hires workers at the buying station as needed. Most often, at the beginning and end of the harvest season, there are fewer workers, while the need for workers is greatest in the middle of the harvest. The idea of this research is to optimize the number of workers in the workplaces of this buying station, taking into account three criteria: the time required to perform an operation ($k = 1$), physical effort at the considered workplace ($k = 2$), and exposure to working environment conditions ($k = 3$).

By applying the proposed algorithm described in section 4, the following results are obtained. Figure 1 shows how the number of workers at each workplace changes according to the developed model, depending on the available number of workers. The figure shows the range of the available

number of workers between 10 and 50.

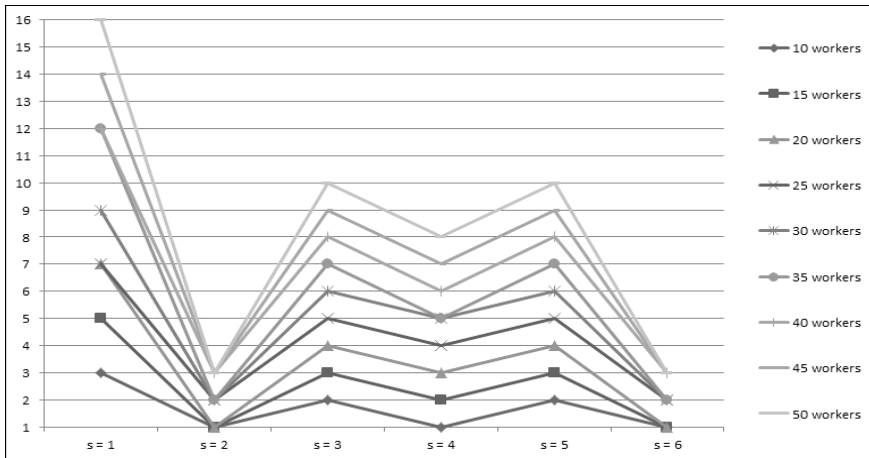


Figure 1. The number of workers at each workplace

The number of workers in workplaces changes in different ways. In fact, workplace $s = 1$ records the biggest changes when it comes to the number of workers. It is necessary to employ more workers in this workplace, which speaks in favor of the fact that this workplace is the most important and most demanding at this buying station. Working in this position requires direct work with clients, requires fast work, and involves physically demanding work (lifting and manipulating loads) and exposure to solar radiation and other weather conditions.

Workplaces $s = 3$ and $s = 5$ in all mentioned scenarios require one new worker for every five new workers in total. It can also be determined that 20% of the total number of workers need to be employed in these two positions. This percentage does not change in the nine scenarios presented. Workers at the workplace $s = 3$ are not always required to work at a high pace, but the work is physically demanding and workers are exposed to the effects of the working environment, but less than workers at workplace $s = 1$. The situation is similar when it comes to workplace $s = 5$. In the workplace $s = 4$, it is necessary to employ slightly fewer workers compared to $s = 1$ and $s = 3$. Workplaces $s = 2$ and $s = 6$ require the smallest number of workers because the work performed at these workplaces does not require a lot of physical effort and the workers are not exposed to the negative effects of the work environment.

5. Conclusion

This paper presents a new model for determining the optimal scheduling plan of workers at workplaces within the framework of the fruit-buying station. Six workplaces were analyzed in the paper, based on three criteria. To solve this problem, a methodology based on FAHP and FLP was used. The proposed model was tested on the example of a company whose headquarters are located in the territory of western Serbia and which is one of the largest companies in this field in the territory of the entire country. The main contributions of this work are: (a) a new model of workers' scheduling when work measurement does not give adequate results; (b) a sufficiently flexible model which can be adapted to any similar problem; (c) relatively simple model to apply; (d) a similar problem has not been considered in the literature, although this is a real problem in practice. The proposed model has certain shortcomings: (a) The model can only be applied in situations where there is no possibility of measuring work or when measuring work does not give good enough results; (b) The model is adequate for solving optimization problems of small dimensions. If a large number of criteria were considered, and above all, a large number of workplaces, the proposed model

would be absolutely limited. Future research directions will be focused on the application of the proposed methodology for solving similar optimization problems.

6. References

- [1] Liu, R., Yuan, B., & Jiang, Z. (2017). Mathematical model and exact algorithm for the home care worker scheduling and routing problem with lunch break requirements. *International Journal of Production Research*, 55(2), 558-575.
- [2] Yilmaz, O. F., Cevikcan, E., & Durmusoglu, M. B. (2016). Scheduling batches in multi hybrid cell manufacturing system considering worker resources: A case study from pipeline industry. *Advances in Production Engineering & Management*, 11(3), 192-206.
- [3] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. McGraw-Hill, New York.
- [4] Dubois, D., & Prade, H. (1993). Fuzzy numbers: an overview. *Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems*, 112-148.
- [5] Zimmermann, H. J. (2011). *Fuzzy set theory—and its applications*. Springer Science & Business Media.
- [6] Zheng, Q., Lyu, H. M., Zhou, A., & Shen, S. L. (2021). Risk assessment of geohazards along Cheng-Kun railway using fuzzy AHP incorporated into GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1508-1531.
- [7] Milanovic, M., Misita, M., & Komatina, N. (2020). Determination of the optimal production plan by using fuzzy AHP and fuzzy linear programming. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(4), 4315-4325.
- [8] Meng, L., Zhang, C., Ren, Y., Zhang, B., & Lv, C. (2020). Mixed-integer linear programming and constraint programming formulations for solving distributed flexible job shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106347.
- [9] Amin, S. H., Razmi, J., & Zhang, G. (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 334-342.
- [10] Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadi, B., Jolai, F., & Ghodrathnama, A. (2010). The use of a fuzzy multi-objective linear programming for solving a multi-objective single-machine scheduling problem. *Applied soft computing*, 10(3), 919-925.
- [11] Mejjaoui, S., & Albathi, R. (2020). Fuzzy AHP and Linear Programming Based Decision Support System for Logistics Service Providers Allocation. In *Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit, Michigan, USA* (pp. 3046-3060).
- [12] Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3), 649-655.
- [13] Chen, S. H., & Li, G. C. (2000). Representation, ranking and distance of fuzzy number with exponential membership function using graded mean integration method.



Interconnection between industrial safety and cybersecurity

¹Kristóf Stölczér, ²Tamás Szádeczky

¹*Óbuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences. Budapest, Hungary, stolczerk@icloud.com*

²*National University of Public Service. Budapest, Hungary, tamas.szadeczky@uni-nke.hu*

Abstract

It is clear that the continuity of industrial production, which is the key driver of the economy, is a vital priority for our daily lives. It is extremely important that these automated and semi-automated industrial cyberphysical systems operate safely without risk to human life or compromising productivity. Critical infrastructure and critical manufacturing facilities are potentially subject to all types of attackers (state-sponsored cyber attackers and cyber criminals, terrorist groups, hacktivists) who, whether for political, economic, or ideological reasons, select the attacked establishment, thus affecting the global supply chain or even damaging the economic structure of an entire nation.

Keywords: industrial cybersecurity, critical infrastructure's cybersecurity, industrial safety, cybersafety

1. Introduction

When looking at the operation of critical infrastructures or a manufacturing company, it is clear to us that almost all of these sectors and sub-sectors are typically long-standing facilities, often with outdated technology (legacy systems and technologies), multi-generational staffing with fundamentally different mindsets, hazardous manufacturing activities, insufficient cybersecurity control sets, or, in the worst case, none at all (which is probably caused by the result of a general ignorance, a lower preventive maintenance effort for economic reasons, or the decision to minimise the scope of these maintenance actions, solely in order to keep production continuity). The primary lesson from past cybersecurity incidents involving industrial control systems is that security awareness as a line of defence is critical. In the processing of major incidents, it has been found that a key trigger for a cyberattack was an already deficient level of preparedness and awareness. [1] Fortunately, to our knowledge, there have been no cyber-attacks against a company or critical infrastructure performing a dangerous operation that have resulted in mass human casualties. To put my research into context, the cybersecurity of industrial control systems clearly has a major impact on the process safety of manufacturing. Furthermore, I would like to present the current trend of OT/ICS attacks globally and illustrate the importance of addressing cybersecurity and process safety together in many circumstances.

2. Industrial safety and cybersecurity concerns in a hazardous industrial establishments

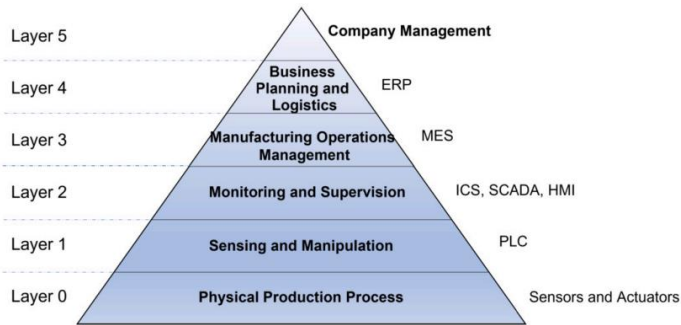


Figure 1. ISA-95 automation pyramid [2]

Typically, an industrial control system has a supervisory control and data acquisition system (SCADA), a remote terminal unit (RTU), programmable logic controllers (PLC), a human-machine interface (HMI) and finally process-related assets on the field. These layers are in semi-direct cooperation with Office IT but in a strictly separated architecture (Layer 4 - Layer 5). Heterogeneous industrial systems are a major safety and security issue. In critical infrastructures, such as power generation units, oil refineries, and natural gas pipelines, these systems must operate at a high level of CIA principles throughout their whole life cycle. An important pillar of its implementation is effective risk management. There is a strong demand for a coherent risk assessment framework, at least for safety and security. Combined safety and security assessments can provide a better and more reliable tool to identify early design defects in a more cost-effective and timely manner. In terms of the dimensions of attacks against OT/ICS, they might typically attack by denial of service to disrupt the continuity of operations, deliberate physical destruction of systems as an attack against assets and property, aggressive attacks against system operators, stealing information about high-value manufacturing processes, or industrial espionage. [2]

2.1 Cybersecurity framework to evaluate the adequate risks

The most common industrial cybersecurity standardized framework is the ISA/IEC 62443 series, which was developed to increase the security of ICS/OT systems throughout their whole lifecycle as vendor product and also from the asset owner perspective. To assess safety and security, an important starting point is the collection of safety and security policies, which in many cases have already taken into account the IEC62443 standard and other sector-specific rules and standards. As part of the evaluation of the documentation, an impact analysis is carried out for many scenarios that could compromise the business-production processes themselves or the equipment and instruments that are considered as assets of the organisation. The impact analysis should identify the OT/ICS systems and which business processes interact with, the identified system should be classified by security requirements, and the data that flows through it should be identified by security classification as well. [3] In the industrial control system's environment we can use as a cyber-risk assessment method the ISA/IEC 62443-3-2 and 3-3 standard where the main steps are:

- Identifying cyber threats
- Determine the impacts and consequences

- Determine likelihood
- Determine the security level target and operating model
- Evaluate the existing controls
- Identifying additional controls [4]

2.2 Functional safety approach

Functional safety is a standardized framework to ensure the system functioning appropriately and sets out general requirements to achieve those specific safety controls which is essential to deliver the safety performance level. This standard is the IEC 61508 standard series as a functional safety benchmark. The standard’s approaches and concerns all those hazards which are closely related to the technological, human error and organizational safety risks, where the professional individuals evaluate the causes of possible malfunctions to reach the SIL (Safety Integrity Level). [5]

2.3 Combination of functional safety and cybersecurity assessments

From perspective of engineering, risk and cybersecurity disciplines systematically performed an assessment on the plant hazardous operational processes to determine the possible anomaly in the process (physical properties), the potential root causes of the anomaly (physical properties), the possible deviations from the ICS/OT system’s network traffic and the possible consequences of the deviations. The central objective of cybersecurity assessment – supported with process safety aspects - is to evaluate the consequences of cyber incidents on the ICS/OT environment. Cybersecurity-related incidents included either deliberate or inadvertent actions that could lead to interference with the flow of data or information within the control system, which could result in malfunction and damage. [6]

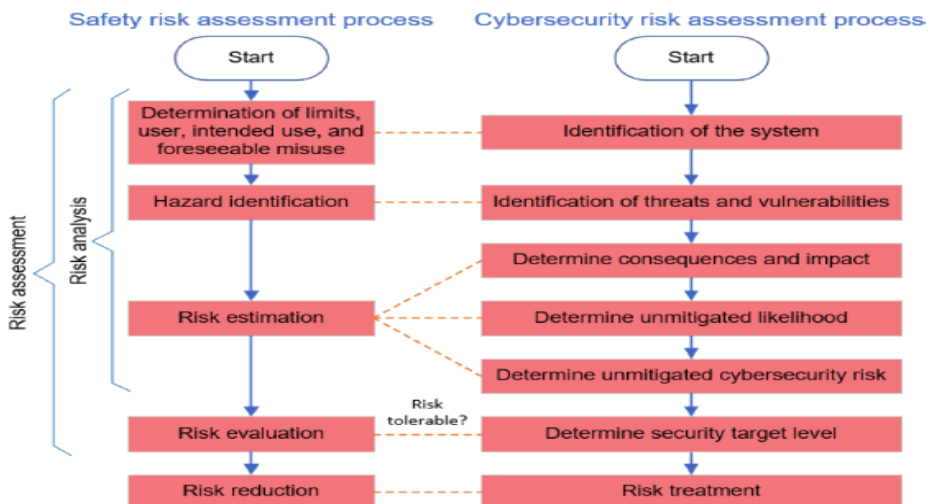


Figure 2. Safety and cybersecurity risk assessment process [7]

3. Cyber-Physical system/Industrial control system's cybersecurity challenges

The triad of confidentiality, integrity, and availability is a fundamental value of the cybersecurity profession, and ensuring these values is central to the cybersecurity mechanisms within an organisation. When the information system of the organisation is augmented with the industrial control systems used in the production environment, the context is completely different. As long as the value of a CIA principle used in an IT environment is compromised, in a "better scenario" we are talking about "only" e.g. a data breach or credentials leakage, and there is no significant impact on human life, but the financial damages and reputational consequences can be significant. [8]

In physical terms, the impact on an industrial cyber-physical system could initiate an irreversible process whereby the cyber-physical system could lose essential functionalities, system degradation could occur, or unauthorised modifications could be inserted into the algorithm created by the manufacturer or the vendor. [9]

We already have relevant experience attacking an industrial facility with hazardous activities. The data clearly demonstrate that the vast majority of incidents have escalated from human error and inattention to physical safety consequences. Typically, a phishing email was used to infiltrate the facility's IT system. A more effective attack generally is the loss of control over programmable logic controllers (PLCs), failure to receive error alerts, falsified sensor data, manipulations of sensor data, making it impossible to perform the critical target operations, e.g., open-close, or the operation is performed in a catastrophic operation phase because of the received false data. [10]

4. Conclusion

The interdependencies and activities of critical infrastructures, as well as the hazardous industrial activities of local and multinational manufacturing companies, and the supply chain itself are exposed to cyber security threats on an unprecedented scale. This is combined with a fragile international security architecture threatened by confrontations arising from geopolitical tensions, cyberterrorism, hacktivism, etc. For the future, it is urgent to establish a complex global, continental, and local industrial safety and cyber security legislation that encourages companies (as the Seveso Directives) to deploy more secure technologies (replacement of legacy systems) and to increase their operational safety and security awareness level.

5. References

- [1] René Waslo, Jason Hunt (2023). The connection between cybersecurity and worker safety. www.securitymagazine.com
- [2] Roberto Canonico, Giancarlo Sperli (2023). Industrial cyber-physical systems protection: A methodological review. *Computers & Security* Volume 135
- [3] Hicham Lalaoui Hassani, Ayoub Bahnasse, Eric Martin, Christian Roland, Omar Bouattane, Mohammed El Mehdi Diouri (2021). Vulnerability and security risk assessment in a IIoT environment in compliance with standard IEC 62443. *Procedia Computer Science* Volume 191, 33-40.
- [4] IEC (2020). Quick Start Guide: An overview of ISA/IEC 62443 standards, ISA global cybersecurity alliance.
- [5] M. Sliwinski, E. Piesik, J. Piesik (2018). Integrated functional safety and cyber security analysis. *IFAC-PapersOnline* Volume 51(24), 1263-1270.
- [6] Marja Ylönen, Kim Björkman (2023). Integrated management of safety and security (IMSS) in the nuclear industry: – organizational culture perspective. *Safety Science*, Volume 166.
- [7] Jarmo Alanen, Joonas Linnosmaa, Timo Malm, Nikolaos Papakonstantinou, Toni Ahonen, Eetu Heikkilä, Risto Tiusanen (2022). Hybrid ontology for safety, security, and dependability risk assessments and Security Threat Analysis (STA) method for industrial control systems. *Reliability Engineering and System Safety* Volume 2020
- [8] Yuchong Li, Qinghui Liu (2021). A comprehensive review study of cyber-attacks and cyber security; Emerging trends and recent developments. *Energy Reports* Volume 7, 8176-8186.
- [9] Nilufer Tuptuk, Stephen Hailes (2018). Security of smart manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems* Volume 47, 93-106.
- [10] Nelson H. Carreras Guzman, Igor Kozine, Mary Ann Lundteigen (2021). An integrated safety and security analysis for cyber-physical harm scenarios. *Safety Science* Volume 144



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE
Az MTA programsorozata



Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2023)
<http://bgk.uni-obuda.hu/esb/>



Rear upright developed for a Formula Student racing car

¹Kiss Márton Péter, ²Molnár Ildiko PhD

1Óbuda University Bánki Donát Faculty, Budapest, Hungary, kissmartonpeter@stud.uni-obuda.hu

2Óbuda University Bánki Donát Faculty, Budapest, Hungary, molnar.ildiko@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The primary function of the uprights installed in the racing car is to ensure the connection between the A-arm and the wheels. It plays a significant role in increasing the performance and improving the ride properties of the car. The CAD model of the upright was designed taking into consideration the geometry of the chassis and the loads it will be exposed to. The analysis of the component and its topological examination were carried out in the mechanical module of the ANSYS program.

Keywords: upright, simulations, CAD design

1. Introduction

Uprights are the components of a Formula Student vehicle which connect the A-arm to the wheels. The bearing assembly inside them is where the wheel hub rotates. In the case of the rear upright, both the rear axle and the tripod transmit motion to the wheel hub through the tripod profile located in the rear wheel hub. Apart from the A-arms, the wheel-based rods are also connected to the lower bracket and the caliper mount is also mounted on the upright. A lot of different loads affect the components. The components are subjected to a wide variety of loads, with the main stresses being the tensile and compressive forces coming from the direction of the wheel. These forces are transmitted to the A-arms through the connection point of the brackets of the upright. Additional loads occur at the brake caliper attachment due to the radial torsional load during braking and the pure compressive load resulting from the constant preload of the wheel-based rods. After defining the loads precisely, the upright needs to be designed, taking the manufacturing technology into account. Furthermore, attention must be paid the assembly feasibility during the design. The component needs to be assembled multiple times during testing and racing, where it is advantages for the team to be able to assemble the vehicle efficiently and quickly. [1;2]

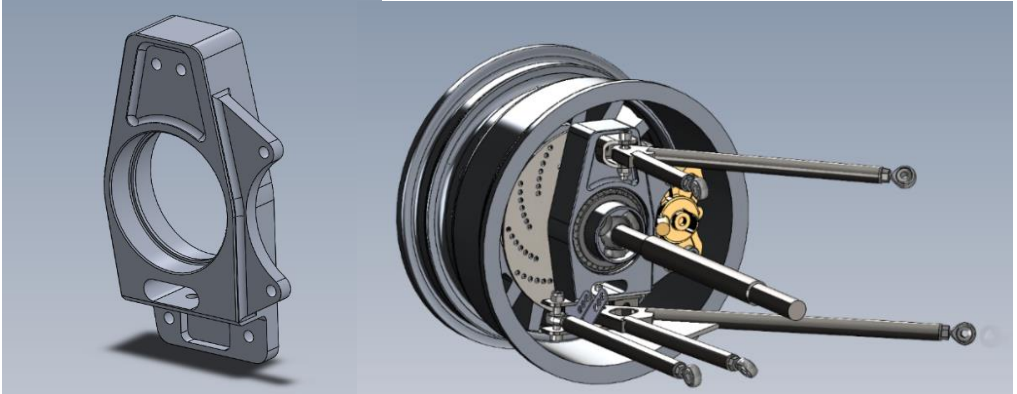


Figure 1. Upright geometry

2. Material and method

During the process of creating the CAD model of the upright, we aimed for a logical, structured design. The development processes defined the steps of designing the model, providing dimensions to facilitate subsequent modifications. In addition to a robust design, we tried to achieve the lowest possible weight.

The upright was designed for the first Formula one race car of the Óbuda University Racing team. We aimed for simplicity and ease of manufacture and assembly. We aimed to use it as a basis for the development of future uprights.

The first step in the design process is to draw up a plan of the model and determine the bearing bore of the hub. The design involves determining the location of tapered roller bearing manufactured by RVC with an inner diameter of 63.5 mm and an outer diameter of 94.458 mm. In the case of a double-sided bearing arrangement, the inner bearing halves are mounted in the trunnion mount and are fitted with a P7 tolerance. The bearings are in O arrangement, which allows the tapered rollers to support a wide range of loads.

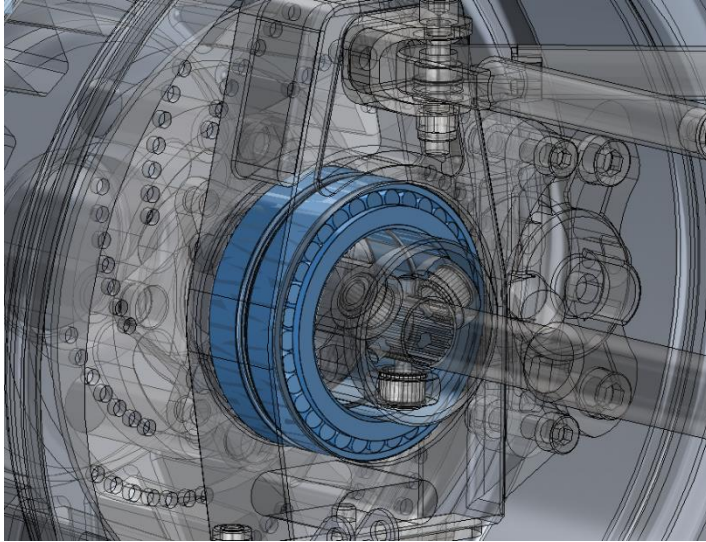


Figure 2. Upright bearing

The second step is to determine the design of the upper part. The geometry of the chassis determines the chassis spacing of the vehicle, so the linkage of the swing arms must be positioned accurately on the upright. When designing, it was important to ensure that the linkage of the swing arms was perpendicular. In this case, the upper connection surface is closer to the chassis than the lower one. The other side of the connection was milled 26 mm deep to reduce weight.

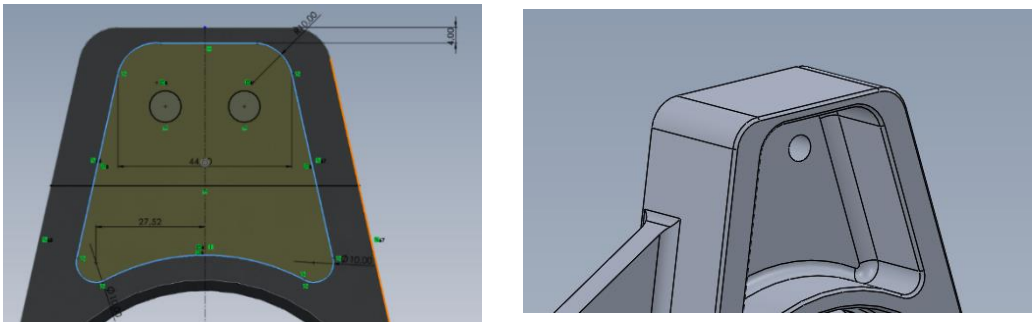


Figure 3. Swing arm connection

The third step was to position and fix the callipers. The exact positioning of the callipers depends on the inside diameter of the 13-inch BMW E21 rim, which is a tight constraint on the positioning of the callipers. Our callipers have a radial layout and are from the Suzuki GSX-R 600 K3, so they have very robust dimensions. They have 1.5-inch pistons, which gives the vehicle extremely good braking power which was a factor in their selection. The position of the callipers is also influenced by the size of the brake disc, which is maximised at 210 mm diameter. In addition, during the design it is important to ensure that the pads touch the disc in as many places as possible and that the bleed pint can be accessed during assembly. It is advisable to keep the callipers bore spacing as a fixed

dimension at the beginning of the design process, so that the two bores do not slip relative to each other during positioning. [3;4]

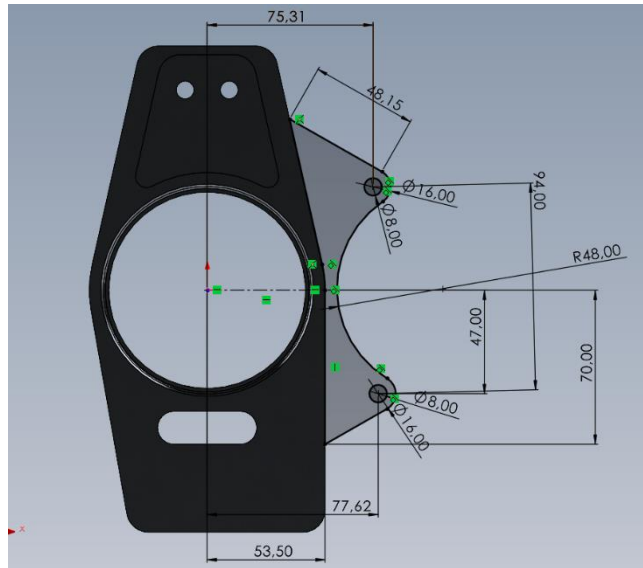


Figure 4. Caliper connection

The fourth step was the design of the lower part, which was also done according to the chassis geometry parameters. The lower connecting bracket is perpendicular similarly to the upper one, but the track bar is also connected to this component. The component is secured horizontally by 2 bolts and positioned and unloaded vertically by one bolt. To ease the mounting, a mounting hole had to be placed to allow room for the wrench to screw in the bracket. [5;6]

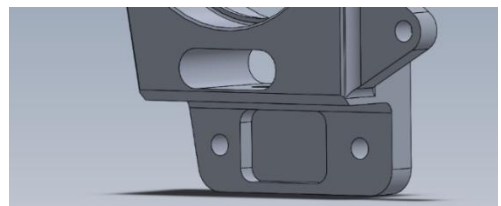
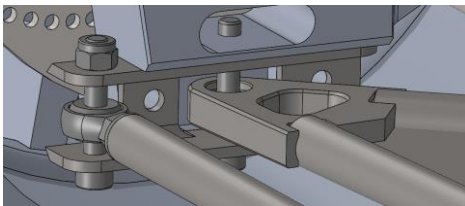


Figure 5. Lower swing arms and track bar connection

3. Simulations

To finalise the design of the component, it is essential to create a finite element simulation. By knowing the different loads effects, we can determine the life cycle, fatigue, which we want to optimize as much as possible during the design phase. These are the torsional loads on the caliper connection due to braking and the push and pull loads on the two swing arms, which will act on the lower and upper anchorage points of the upright. The simulation was carried out in ANSYS Static Structural module, where I was able to adjust both the model mesh and the direction and magnitude of the different loads accordingly. [7]

4. Results

After setting up the appropriate network and boundary conditions, the calculation was performed. The evaluation of the results is shown in Figure 5 and 6.

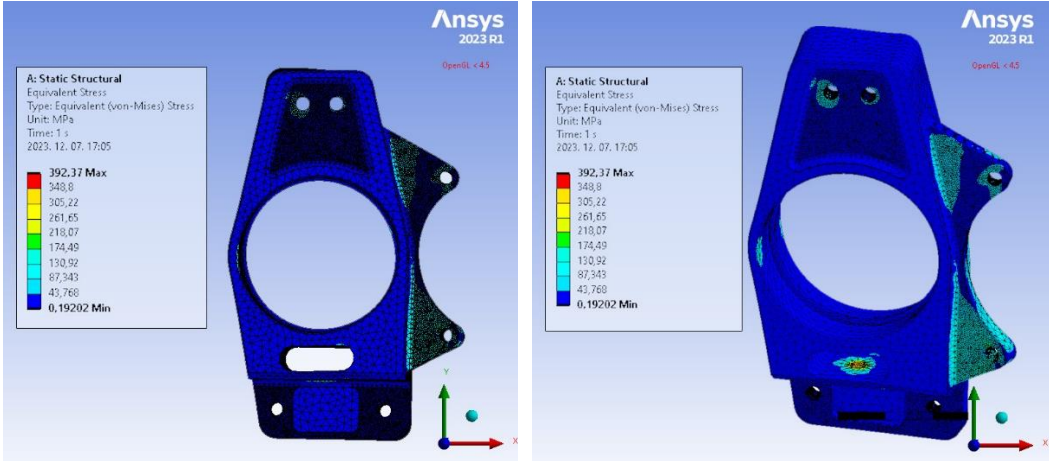


Figure 6. Equivalent Stress

The component can endure all loads in a number of different ways in the majority of the component material. Stress collection points were determined during the tests. This is shown in Figure 6.

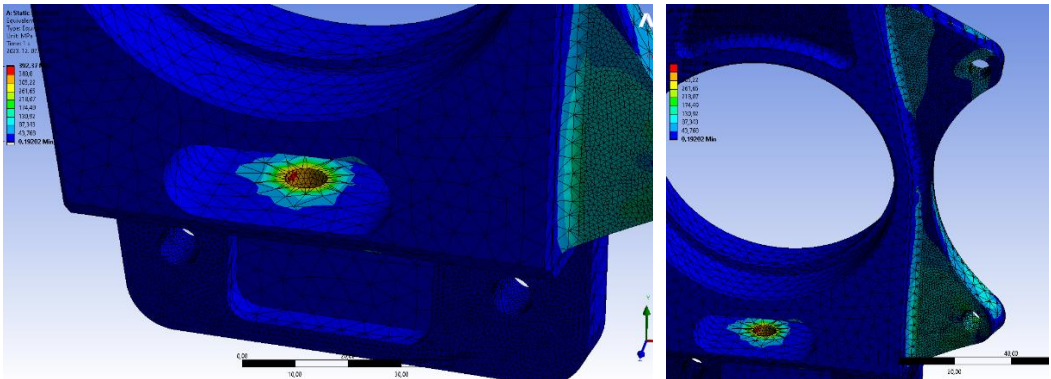


Figure 7. Stress points

The lower swing arm connecting bracket is also secured in the upright by a third vertical bolt, where the maximum stress occurs at the bolt hole. This will be taken into account for the next generation of uprights. There is also a lot of stress at the caliper mounting bracket, which can be reduced by increasing the edge stiffness between the body of the part. [7]

5. Conclusions

The upright of a Formula Student racing car has a very complex geometry due to the many different components attached to it and the function of the component. Designing the correct geometry of the upright depends on many aspects, similarly to those of components found in motorsport. Each component of a vehicle of this type requires custom development by students, so the requirements for a particular component are also determined by the team.

The upright of our first race car will provide the team with a basis to give guidance for the next generation of development in terms of direction and principles. Simulations and tests will provide further information to continue to develop the next component.

6. Literature

- [1] Kishore Rangaraian, M. Hari Njvethan, S. Prawin Khumar, A. Ajay Bharathi; Design and CFD analysis of undertray for formula student car, AIP Conference Proceedings 2446(1):180053, 2021.
- [2] Formula SAE Rules 2022,
<https://www.fsaeonline.com/cdsweb/app/NewsItem.aspxNewsItemID=1ddb17e7-00fc-4716-829a-09413f519eba>
- [3] William Kinkead, Adrian Pickering, James Waldo, Connor Morette, Zachary Sears: Design and Optimization of a Formula SAE Vehicle, 2016
- [4] Óskar Kúld Pétursson: Uprights, wheel hubs and brake system for a new Formula Student race car, School of Science and Engineering, 2016
- [5] Bhargac Prajwal Pathrj; Manufacturing of Formula one Student Sports Car Upright Using Rapid, International Journal of Automotive Technology, 29(1):1103-1106, 2013.
- [6] Marek Hunar, Lukas Jancar, David Krzikalla, etc.; Comprehensive View on Racing Car Upright Design and Manufacturing, Symmetry 12(6):1020, 2020.
- [7] Csányi Mihály, Molnár Ildikó, Mass Reduction of Upright of a Racing Car with Innovative Methods, Acta Polytechnica Hungarica, Vol.21 No.4, 2024.



Vehicle explosives and explosive device detection methods at outdoor public events

¹ Norbert Daruka PhD., ² László Szalkai

¹ Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary. ORCID: 0000-0002-7102-1787. E-mail address: daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu

² Ludovika University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, PhD. student. Budapest, Hungary. ORCID: 0000-0002-4843-4591. E-mail address: szalkai.laszlo81@gmail.com

Abstract

One of today's biggest challenges is to organise protection against terrorist threats. Globalisation, world-wide transport routes and almost instant access to any point in the world give members of terrorist organisations the opportunity to achieve their goals more effectively. These goals include terror and panic events, often achieved by bomb attacks. We have a wealth of experience of how explosives or different types of explosive devices have been used in a successful bomb attack. The main objective of security professionals is to prevent the use of these destructive devices or materials, especially in areas where large numbers of people gather. Large-scale public events are particularly at risk, as tens or hundreds of thousands of visitors may be present at such celebrations, community events. As these events are mostly international, in the event of a successful attack, the international media may consider the situation to be of great importance.

Keywords: Explosion, terrorism, mass event, screening, detection.

1. Terrorism and asymmetry

Modern-day terrorism is able to keep pace with technological progress and exploit its achievements to ever more unexpected and devastating effect. With the help of information technology and intelligence systems that cover the entire world, criminal organisations are able to obtain precise information on persons, objects and high-profile mass events targeted for attack in a matter of seconds. Explosives previously used only for military purposes have also become more accessible to civilians and the use of improvised explosive devices has increased. At almost the same time, “cookbooks” and assembly manuals describing how to make bombs at home appeared. These were initially available only in conflict areas, but now, with the rise of the internet and globalisation, geographical borders have disappeared. [1]

In the context of terrorism, we have already seen the phenomenon of a “soldier”, as defined in the conventions, not fighting with the opponent's soldier to achieve a political goal, but the emergence of a group that ignores all rules, does not spare the civilian population, denies social values, seeks only to destroy and pursues its own goals. This disproportionality is called asymmetric warfare, an activity linked to asymmetric challenges, where non-military forces - usually suicide bombers - carry out military actions, usually against the more technically advanced side.

Asymmetric challenges are unconventional or costless malicious actions that are not adequately prepared to counter (terrorism, use or threat of use of weapons of mass destruction). This form of warfare is a range of activities involving guerrilla, guerrilla-style raids and other actions, often self-

sacrificial, carried out with simple means and methods and at no cost. Thus, it is the weapon and method of the 'weaker' technically equipped, less trained party, usually fighting in occupied territory, against the invaders. This includes: suicide bombings, bomb attacks, destruction of supply lines, transport routes, and other actions to prevent the enemy from supplying and resupplying. Most of these are very difficult to detect and are not conducted in accordance with the rules of war. [2]

Terrorists, as practitioners of asymmetric warfare, use simple, often unusual means with great success. They exploit the strength of the opposing side as its main weakness and seek to achieve maximum results - casualties, wounded, media publicity - with minimum investment of force. Except in a few cases, the groups are small and this small size allows for rapid decision-making and successful operations. Small does not, of course, mean that the whole organisation consists of only one or two people, but only those directly involved in the attack. The organisational structure, i.e., the number of people indirectly involved, can reach tens or even hundreds of people, since there are many stages in the process of making and using an explosive or an explosive device, from the procurement of the various components of the device, to its transport and construction. Unfortunately, this structure allows the members of the organisation to have only partial information, i.e., no knowledge of the whole process. The purchaser does not know who the supplier is, who does not know who is building the explosive device, who does not know where and when it will be used. This makes it very difficult to detect and uncover the whole organisation and to prevent attacks. [3]

2. Preventing explosive incidents

Preventive, pre-emptive activities play an important role in preventing a criminal act of explosives. For example, during an event, hundreds of participants, cars and trucks may need to be searched for explosives to maintain safety. For this reason, and also taking into account the need to keep the event running smoothly, the time needed for the search is relatively short. Thus, explosives detection techniques and technologies are evolving rapidly to ensure that the detection is carried out as efficiently and quickly as possible.

The first priority is to prevent access to the protected area, so the checkpoints that serve as the primary security step for the event must be prepared, reinforced or reorganised. These may be physical barriers (fences, posts, ditches, baffles). When choosing the location of the event, these physical barriers will have a significant influence on the subsequent protection measures. It is not the same whether these natural or artificial barriers are available or whether we have to provide them. This is also of great importance in terms of the costs involved. Another important consideration is the number of staircases and the spatial spacing between them. For example, for large mass events, if they are not in the inner area of a city centre, the space required for the parking of vehicles will be considerable. This may be the primary screening point, where arriving vehicles are usually visually inspected. This will of course also depend on the distance that we can place parking facilities from the event site. The closer the car park is to the centre of the event, the more stringent the checks to avoid danger. In this case, the inspection of the interior of the vehicles, the use of explosive detection dogs and the setting up of vehicle X-ray machines are already being considered. However, it is important to bear in mind that the more accurate the screening, the longer it will take. In conclusion, if vehicles are inspected in great detail, it can take longer and this can only be countered by the quantity of sites inspected. [4]

There are many aspects to consider when designating parking spaces. Firstly, the location of utilities, for example, it is important to avoid placing the parking lot near the supply networks and control points. On the other hand, it is also important to think about and plan for how, in the event of an unexpected event (natural or man-made disaster, explosion, arson, deliberate damage), the evacuation of the parking sector or sectors will be initiated in order to avoid a major disaster.

Last but not least, we must also consider how the spatial separation of the vehicle and the occupants of a searched vehicle can be achieved.

There are several scanning options to search land vehicles, which vary in both efficiency and execution time. The first tool is visual screening by security personnel. At first sight this may appear to be the least effective method, since if explosives are hidden inside the cargo or under the body of the vehicle, they are unlikely to be found in the time available. The method is also not the best solution in terms of permeability and effectiveness, as it is time-consuming and superficial.

2.1 Explosive trace detection device - ETDD

All of the following methods require operators. Only a person who has attended a basic training course required by the European Union and passed an examination may operate explosives testing equipment. Then, at certain intervals, the personnel must take a retest. The inspector is then given specific training to learn how to use the equipment on which he will be working. The first of these specialised inspection methods available is the use of an Explosive Trace Detection (ETD) tool. The method is to find explosive residues using samples. The test procedure begins by taking a sample from the object or person to be tested using a sampling pad, and then placing the sample in the machine and evaluating it in about 8-10 seconds. In terms of throughput, this procedure may be fast enough for an event, but one sample is not enough to be certain, it is also worth taking samples from different points on the vehicle and driver to increase the testing time considerably, from 8-10 seconds to half a minute. The detection efficiency is outstanding because it can detect explosive particles up to micron size. [5]

2.2 Explosive detection dogs - EDD

Another key method is the use of sniffer dogs. Well-trained dogs can find explosives in vehicles with great certainty. The search time is similar to the first method, between half a minute and a minute. Environmental factors, such as temperature and wind conditions, should also be taken into account when carrying out a canine inspection. Strong windy weather can significantly complicate or even prevent the inspection. Furthermore, dogs must be able to reach higher points of the vehicle to ensure a complete inspection. Another important consideration in canine detection is the length of time dogs can continuously scan, and of course they should be given a rest period at intervals. In this method of screening, as the trained animal is searching for explosives, it must not give an active signal, bark, scratch or bite. Only a passive signal is allowed, i.e., the animal will sit down or lie down with its nose in the direction from which it detects the odour that triggers the signal. The position in which the detection dog gives the signal indicates whether the source of the odour is downstream or upstream of the height of the nose. [6]

2.3 X-ray explosive trace analysis

In terms of efficiency and search time, one of the most prominent and state-of-the-art methods of vehicle inspection is X-ray inspection. X-ray inspection stations can be divided into two different types in terms of mobility. One group is fixed installation X-ray equipment. This class, as its name implies, can be installed once at the designated location and cannot be moved afterwards. Most types are capable of scanning 100 to 150 vehicles per hour. The fixed installation systems are usually scanned in a so-called "drive-through" mode, which means that the vehicle is driven through the checkpoint by the driver and the equipment forms the X-ray image. However, there are fixed installation X-ray systems that are equipped with a vehicle conveyor track, so that they can scan the vehicle without the driver. The advantage is that drivers do not need to be present during the inspection, but the disadvantage is that the process will be slower, reducing the throughput of the checkpoint. Fixed installation X-ray equipment is recommended for permanent event locations,

where there is a designated area to accommodate trucks and cars and this will not change in the future. One possible way of separating truck and passenger traffic is to install two separate access points. The other option is to have a common crossing point for the two types of traffic and then, after the control station, to split the traffic according to the purpose for which it is entering. In the latter case, the throughput is half that of the first option.



Figure 1. Fixed-installation X-ray cleaning [7] (Z&Z Preventive Technologies Ltd.)

Another large group of X-ray inspection stations, taking mobility into account, are mobile X-ray units. This type is the mobile version of the fixed installation, and can be re-installed in approximately half an hour, allowing the examination site to be changed quickly if necessary. There are mobile X-ray vehicles that can operate in two modes. One is a pass-through mode similar to the fixed installation X-ray equipment, with this type the vehicles pass under the X-ray gate. The throughput of mobile X-ray machines in pass-through mode is the same as that of fixed-mounted X-ray machines, with a throughput of 130 to 150 vehicles per hour. The other is the scanning mode, where the mobile X-ray moves and scans the entire vehicle as it passes the stationary vehicle being inspected. In this mode, the throughput is significantly reduced, with an approximate throughput of 20-25 vehicles per hour. However, this method is not the most optimal for events, as it is advisable to screen vehicles for explosives on arrival at the event site, so that there is a high degree of certainty that no explosive material will be found in the event area. It is not recommended to screen vehicles individually at the event site due to lack of time or space. X-ray scanners therefore perform exceptionally well in terms of detection efficiency, but have the disadvantage of being expensive and space-consuming. Compared to the previous methods, significantly more space is required to set up both fixed and mobile X-ray equipment. Furthermore, X-ray explosives inspection is only really effective if the operator is experienced enough, having seen enough X-rays, to be able to determine in a short time whether there is inappropriate material in the cargo or possibly under the bodywork. [8]

Each of the explosives detection methods that can be considered when screening vehicles has its advantages and disadvantages. These should be taken into account when choosing the test methods to be used. The main considerations are permeability, hit efficiency, space requirements, number of operators, maintenance and operating costs. None of the options provides 100% hit reliability. Consequently, several different test methods should be used in combination. For example, setting up two checkpoints in succession, the first being a canine inspection and the second a mobile X-ray inspection. Both stations need not necessarily be used continuously; they can be used by only searching vehicles with the X-ray equipment that have been selected for the canine detection during the explosive detection dog search. It is important to note that experience has shown that dogs can also give false signals. This does not mean that the search dog is not able to perform its task, but that the learned scent pattern and what the dog is sensing at that moment are very close. An example of

this could be when the dog is looking for explosives containing high levels of nitrate and the vehicle has passed through an area treated with fertilizer, which is also high in nitrate, and this could generate a false alert.

Choosing the right inspection methods is key for both human and property protection. Thus, it is recommended to strive for methods with the best possible hit rate, so that criminal acts of explosive ordnance disposal fail at an early stage. However, it is important to note that stopping determined and financially resourced perpetrators from achieving their goals is not an easy task. We need to look further into what causes this difficulty.

3. Improvised Explosive Devices - IEDs

Of all the violent devices used by terrorists (the planners of bomb attacks), homemade explosive devices pose the greatest risk to the security of our environment. In order to understand the effectiveness of these explosive devices, we first need to look at what the term itself means. “Improvised Explosive Devices are devices improvisedly assembled and/or placed in a manner designed to destroy, incapacitate or confuse, using military explosive devices, military or industrial explosives, or homemade materials capable of detonation, or a combination of these, which may contain lethal pyrotechnic or flammable chemical substances or CBRN components which are harmful to health.” [9]

In some countries, these devices are usually made from artillery shells, tank shells, but often unexploded ordnance is used because it is easy to obtain, easy to transport and already has the shrapnel. As such explosive devices contain large quantities of explosive material, the explosive force and the fragmentation effect are also very high. Unfortunately, there have also been examples of civil explosives being used in countries where military explosives are difficult to obtain. However, one of the harmful effects of globalization is that 'recipe books' or videos describing the production of home-made explosives have become available, making it easier for terrorists to achieve their goals. [10]

The use of homemade explosive devices is significantly influenced by the constantly changing environmental conditions and the availability of the components of the explosive device to be used. Designers and constructors of devices use the most readily available and obtainable materials for their design, but only the creativity of the device designer and the quantity and technological standard of the materials and components available (or obtainable) limit the complexity and sophistication of the device. These components may be almost the only help in detecting the devices and thus in tracking down terrorist cells. [11]

4. Conclusion

The approach described above is not enough to develop a complex security plan for a mass event, but it can help us to choose the right approach and to work through the options. It may be a cliché that security has no material value, but as we have said, achieving the right level of security requires not only a well-thought-out strategy but also adequate financial resources and, of course, the patience and understanding of the participants. It is not only the potential of technical means, but also the use of animals as a means of protection against an explosive attack at an event. Although the potential for error is inherent in the process of a screening, the chances of a vehicle loaded with explosives or explosive devices passing all screening levels are negligible. In the case of explosives and explosive devices that may be used, it can be noted that, depending on the area, these devices and materials may be present in different ways and in different quantities.

In the course of the study, we did not examine the main steps and steps of personal access, but focused exclusively on vehicle access. Due to space limitations, we did not examine the possibility

of how to screen and organise the entry of vehicles entering the internal security sector of mass events. In this respect, the exemption of ambulance vehicles is of particular importance, but this will be the subject of another study.

5. References

- [1] Daruka Norbert (2012): Bűnös célú robbanószerkezetek alkalmazásának és hatástalanításának sajátosságai, *Fúrás-robbantástechnika 2012. külöнкиadás* (HU ISSN 1788-5671), pp.: 109-118.
- [2] Burger Kim, Cook Nick, Koch Andrew, Sirak Michael (2003): What went right? In: *JDW 30 April 2003* p.: 20.
- [3] Daruka Norbert (2010): A bűnös célú/terrorista robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, *Műszaki Katonai Közłöny 2010. évi 1-4 összevont kiadás* (ISSN 1219-4166), pp.: 229-242.
- [4] Lukács László – Balogh Zsuzsanna (2018): Turisztikai létesítmények, események robbantásos fenyegetettsége (Blasting menaces of touristic places, events). *Műszaki Katonai Közłöny XXVIII. 2018/2.* pp.: 238-251.
- [5] Charles L. Rhykerd – David W. Hannum – Dale W. Murray – John E. Parmeter (1999): “Guide for the Selection of Commercial Explosives Detection Systems for Law Enforcement Applications (NIJ Guide 100-99),” Sandia National Laboratories (for the National Institute of Justice, Office of Science and Technology). Dec. 1999. (NCJ Number 178913), p.: 124. Available: <https://nij.ojp.gov/library/publications/guide-selection-commercial-explosives-detection-systems-law-enforcement>.
- [6] Daruka Norbert – CSURGÓ Attila (2017): The use of animals in military operations. *Trhacia Technika May. 2017.* (ISBN 978-80-89914-00-5), pp.: 32-43.
- [7] Z&Z Preventive Technologies Ltd.: Available: <https://znz.hu/termek/cip-300-compact-jarmu-atvizsgalo-rontgenberendezes/>.
- [8] Bomb Threat Guidance 2016. Security and Resiliency Guide, Counter-Improvised Explosive Device (C-IED), Annex for Outdoor Events Stakeholders. Available: <https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/Security-and-Resiliency-Guide-Outdoor-Events-Annex.pdf>.
- [9] Daruka Norbert (2013): A bűnös célú/terror jellegű robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, különös tekintettel a tűzszerész feladatok ellátására, p. 242 *Doktori PhD értekezés, NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola. 2013.* In.: http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2014/daruka_norbert.pdf.
- [10] Szabó, Sándor – Kovács, Zoltán (2014): Improvizált robbanóeszközök hatásai ellen történő védelem „DEFENCELL” készlettel. *Műszaki Katonai Közłöny XXVI. 2014/3.* pp.: 41-53.
- [11] Szalkai László (2022): Házi készítésű robbanószerkezetek előállítása, alkalmazása robbantásos merényletek során. *Fúrás-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Külöнкиadás 2022.* (ISBN 978-615-01-6009-2), pp.: 84-94.



High Entropy Ceramics: A Brief Introduction

¹Sara Ines Moussaoui, ²Péter Pinke, ^{2,3}János Dusza

¹Doctoral School on Materials Sciences and Technologies, Óbuda University, Budapest, Hungary, moussaouisaraines@gmail.com

²Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu, dusza.janos@bgk.uni-obuda.hu

³Institute of Materials Research, Slovak Academy of Sciences, Košice, Slovakia, jdusza@saske.sk

Abstract

This paper provides a concise introduction to high entropy ceramics (HECs) within the context of materials science. It emphasizes the pivotal role of entropy in influencing HEC behavior and elucidates their distinctive properties. The article also undertakes a comprehensive review of the latest developments in HEC research and their potential utilization in challenging environments, offering a glimpse into the forthcoming discussion.

Keywords: materials, entropy, high entropy ceramics

1. Introduction

Ever since their discovery in 2004, significant research efforts have been dedicated to processing and characterizing metallic High Entropy Alloys (HEAs). These alloys are known for their superior physical and mechanical properties, such as high strength, outstanding wear resistance, and excellent high-temperature strength [1-3]. The concept of high entropy has been extended to ceramics (HECs), polymers, and composites, which mirror the structural characteristics of HEAs. HECs consist of a diverse range of materials, including oxides, borides, carbides, nitrides, silicides, carbonitrides, and the newly developed dual-phase HECs [4-6]. This article provides a brief introduction to the development, properties, and potential applications of HECs, with a specific emphasis on ultra-high-temperature variants. Figure 1 provides an overview of various types of high-entropy materials, with a special focus on HECs.

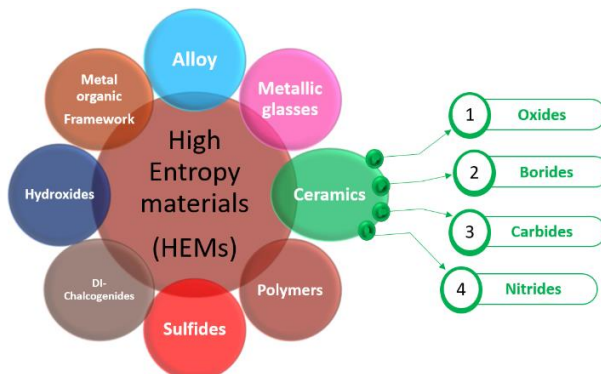


Figure 1. Various types of high entropy materials, with a focus on HECs

2. Definition of HECs and their precursors

The stability of a solid solution, determined by Gibbs free energy changes (ΔG_{mix}), relies on factors such as mixing entropy (ΔS_{mix}), enthalpy (ΔH_{mix}), and absolute temperature (T).

$$\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix} \quad (1)$$

Elevating mixing entropy reduces Gibbs free energy, enhancing the stability of solid solutions. Entropy, influenced by temperature, element count, and atomic fraction, crucially determines the thermodynamic stability, especially in equiatomic mixtures. In equiatomic mixtures, the mixing entropy can be determined by [5]:

$$\Delta S_{mix} = R \ln N \quad (2)$$

The correlation between mixing entropy and the number of elements N in equiatomic mixtures, as depicted in Figure 2, suggests a practical strategy to augment entropy, enhancing the stability of single-phase materials [5]. This process not only ensures high phase stability but also yields excellent properties, attributed to elements' co-contributions through phenomena like the cocktail effect, valence electron distribution, lattice distortion, and sluggish diffusion. There are two key definitions for high-entropy ceramics: one underscores equiatomic or near equiatomic ratios of five or more principal elements (5–35% atomic percentage) for solid solution phase formation, and the other centers on a configurational entropy surpassing 1.61 (or 1.5 in some references) times the gas constant "R" in their random solution state.

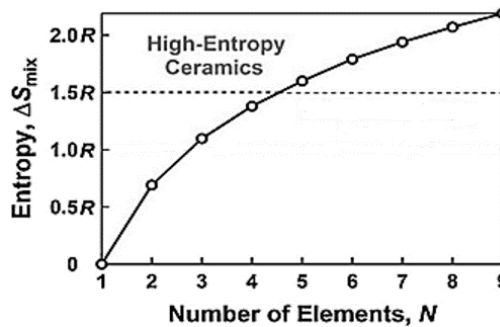


Figure 2. Relation between entropy and number of elements defining high entropy ceramics [5]

Considering recent publications, it is essential to address certain issues related to the terminology, especially concerning dual-phase development in high-entropy ceramics (HECs). A proposed solution introduces the concept of compositionally-complex ceramics or multi-principal cation ceramics, aiming to comprehensively encompass these materials [4-6].

3. Advancements in high entropy ceramics

3.1 Development approaches

Various methods have been explored by researchers for creating high-entropy ceramics. Each method presents its unique advantages and challenges. Two primary approaches exist for this

purpose: experimental and computational. The experimental approach involves processing, microstructure analysis, and functional/mechanical property testing. On the other hand, the computational approach involves calculating Gibbs free energy using various methods such as density functional theory, molecular dynamics simulation, machine learning, CALPHAD, and descriptors. This approach also involves describing high-entropy systems using entropy-forming ability calculations, lattice size difference calculations, and valence electron concentration.

Recent research has demonstrated that the hardness of transition metal rock salt carbides and carbonitrides is correlated with their valence electron concentration (VEC), which is also true for HECs. In the field of experimental materials processing, solid-state reaction methods are widely employed for materials preparation. These methods include ball milling, high-pressure torsion, spark plasma sintering/hot pressing, reactive spark plasma sintering, and self-propagating high-temperature synthesis. Various methods, such as X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and transmission electron microscopy, are employed to examine the microstructure characteristics of the prepared ceramics. It is crucial to conduct chemical analyses of the developed systems to determine the distribution of individual elements. The most commonly studied properties are density, elastic modulus, and hardness, although there are also studies that investigate strength, fracture toughness, creep, and oxidation resistance [6]. Figure 3 illustrates the development cycle schema for high entropy ceramics [4,18].

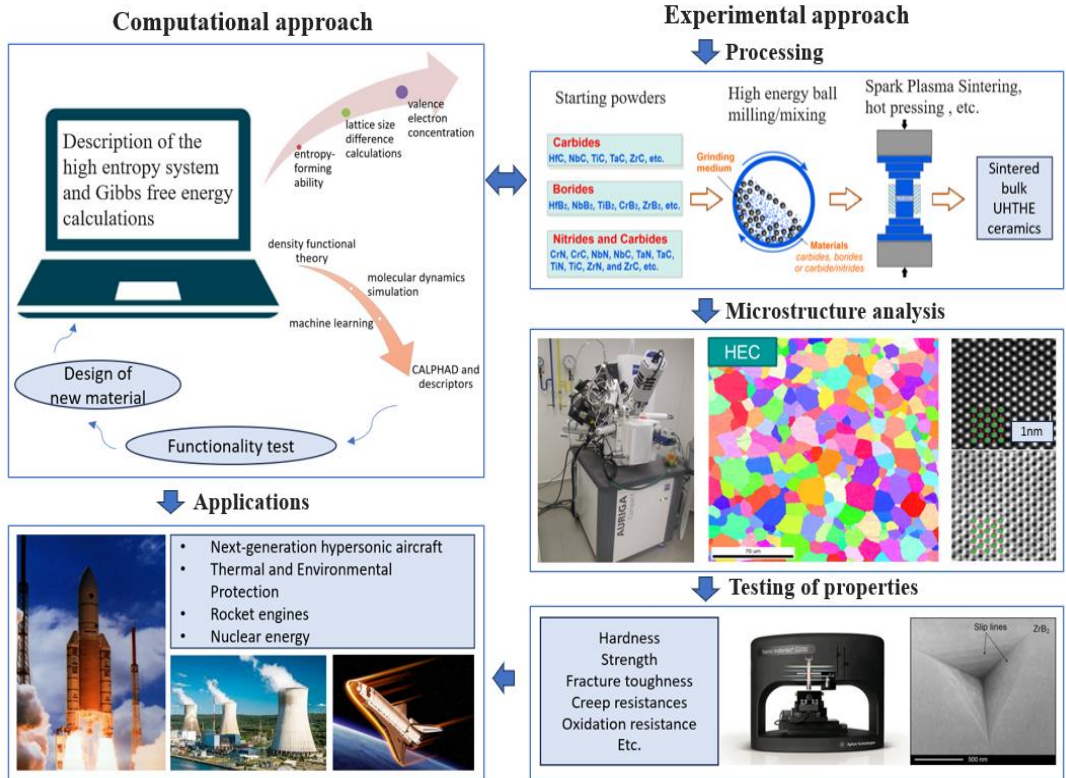


Figure 3. Development cycle schema for high entropy ceramics [4, 18].

3.2 Evolution timeline of bulk HECs

Bulk High Entropy Ceramics (HECs) were first reported in 2015 in the form of oxide [10]. Since then, the number of reports dealing with HECs has rapidly increased, indicating the timeliness and global technological importance of this research field. New HEC systems comprise various chemical compositions such as rock salt, perovskite, fluorite, oxides, borides, carbides, silicides, nitrides, and more. In 2016, Gild et al. [11] successfully synthesized six single-phase, high-entropy, metal diborides using mechanical alloying and SPS. The densities were greater than 92%, and the compositions were mostly uniform at the nanoscale and microscale. Initial property assessments showed that both the hardness and oxidation resistance of these high-entropy metal diborides were generally better than the average performance of individual metal diborides made using the same processing route. In 2018, E. Castle et al. [12] processed and characterized (Hf-Ta-Zr-Ti)C & (Hf-Ta-Zr-Nb)C high entropy UHTC carbide composites via ball milling and Spark Plasma Sintering (SPS). They reported that the lattice parameter mismatch of the component monocarbides is a key predictive factor for determining solid solution formation. Thus, a four-metal (Hf-Ta-Zr-Nb)C composition formed a single-phase solid solution more readily than the (Hf-Ta-Zr-Ti)C composition. In 2020, Dippo et al. [13] reported the first synthesis of bulk high-entropy nitrides and carbon-nitrides and investigated the effect of configurational entropy and valence electron concentration on the mechanical properties of bulk high-entropy ceramics. Also in 2020, M. Qin et al. [14] reported the development of dual-phase high-entropy UHTCs (DPHE-UHTC's). The high-entropy boride and carbide solid-solution phases formed in equilibria with each other, where a thermodynamic relation exists to govern the non-equal partition of each metal element. According to their results, this new class of HECs provides a new platform to tune characteristics/properties, including grain size, hardness, modulus, and thermal conductivity in addition to other mechanical and fracture properties, similar to metallic dual-phase HEA's. Recently, Luo et al. [15] synthesized single-phase high-entropy boride and carbide ceramic powders, together with dual-phase high-entropy powders via a simple one-step boro/carbothermal reduction approach at 1650°C, which were then sintered via SPS processing at 2000°C. A new reactive sintering route was recently applied by Huo et al. [16] to process dual-phase high-entropy ceramics using ZrB₂, NbB₂, HfB₂, TaB₂, and TiC as starting materials. Very high relative density was reached during sintering at 2000°C for 1 hour, with excellent mechanical properties such as hardness 28.4 ± 1.5 GPa, bending strength 1017 ± 91 MPa, and fracture toughness 4.7 ± 0.3 MPa·m^{1/2} with 50 mol% TiC addition..

4. Unique properties for unique applications

4.1 Mechanical properties

High-entropy ceramics exhibit improved mechanical properties through a combination of grain refinement and solid-solution strengthening. Lattice distortions, attributed to varying atomic radii and Jahn-Teller effects, create barriers that impede dislocation propagation, increasing hardness and yield strength while limiting plastic deformation. Additionally, reduced grain coarsening is linked to heightened crystalline energy due to lattice distortions, slowing diffusion and resulting in finer grains. This finer grain structure enhances toughness by facilitating crack deflection at grain boundaries and enabling Hall-Petch strengthening, which restricts dislocation motion [16]. They demonstrate high nano hardness values, even under substantial loads. This indicates their potential for robust mechanical performance, making them suitable for demanding applications [17]. Moreover, nanotechnology emerges as a key player, holding the potential to optimize the toughness of high-entropy ceramics, with nanoscale additives offering precise control over material characteristics. It opens the door to the development of more fracture-resistant and damage-tolerant

ceramics. Figure 4 shows the characteristic values of hardness and fracture toughness in the case of advanced HECs [19-21].

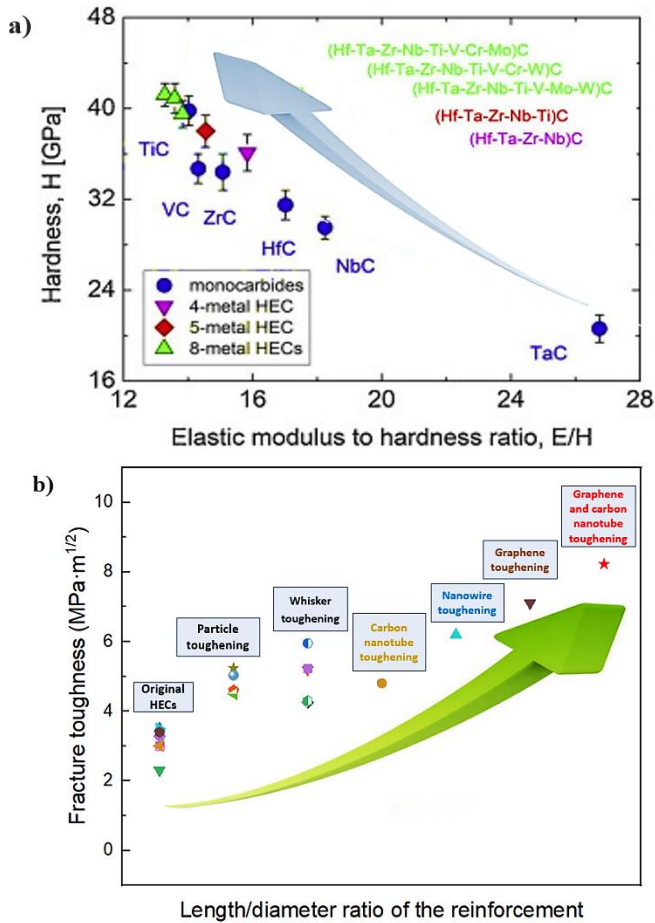


Figure 4. a) Elastic modulus to hardness ratio as a function of hardness, and b) property enhancement via various nano reinforcements [19-21]

4.2 Thermal resistance

In high-entropy ceramics (HECs), disorder plays a crucial role in reducing lattice thermal conductivity while maintaining the material's mechanical strength and stiffness. These ceramics, characterized by high melting temperatures in carbides and borides, hold significant promise for applications in demanding environments, including combustion chambers and other extreme conditions. The advantageous thermal properties of HECs, such as low thermal conductivity, stem from the phonon scattering effect resulting from their multi-component composition and distorted lattice structure. The interplay between elastic modulus and thermal conductivity is pivotal for comprehending these thermal characteristics and is frequently explored alongside their mechanical properties in academic research [5,16].

4.3 Corrosion and wear resistance

Carbides and borides have high melting temperatures, making them ideal for use in extreme environments like combustion chambers. High-entropy ceramics with passivating oxide layers can withstand high temperatures under oxidizing conditions. High-entropy carbides and borides combine many elements to tailor chemical properties, making them strong candidates for use in extreme heat conditions. A recent study showed that (Hf-Zr-Ta-Nb-Ti)C system has high hardness of 38.5 ± 0.5 GPa and 35.5 ± 1.0 GPa for high-entropy carbide grains and grain boundaries, respectively [20]. The wear mechanism in this system was mainly due to mechanical wear with limited grain pull out and localized trilayer formation, Figure 5.

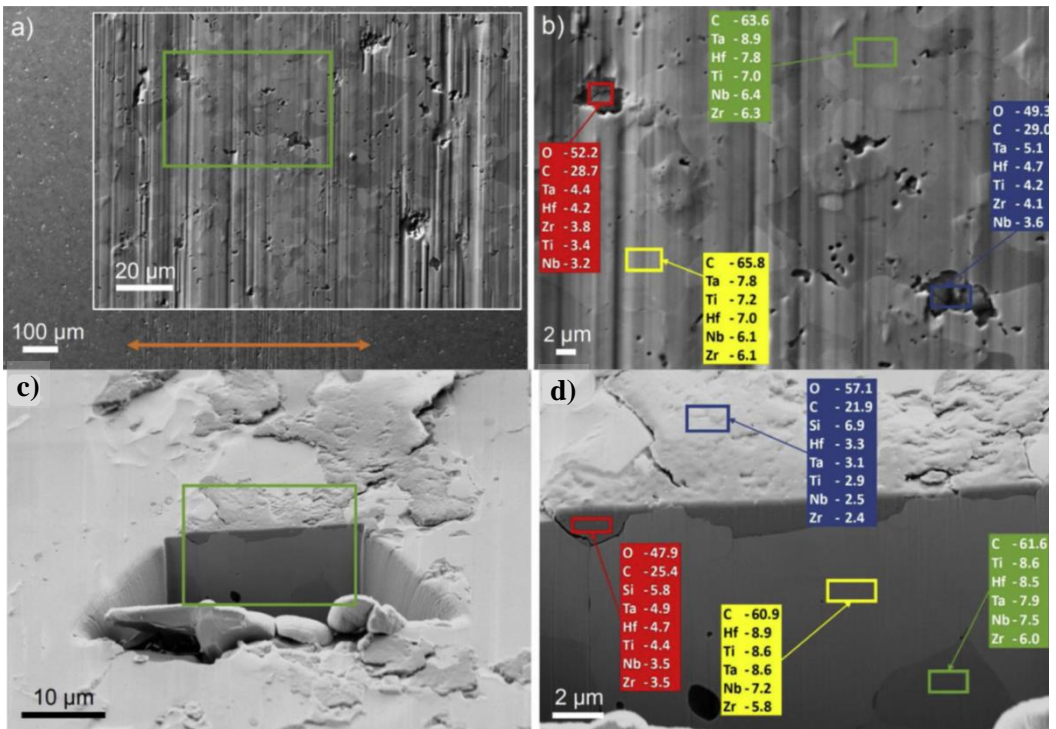


Figure 5. Wear characteristics of the (Hf-Zr-Ta-Nb-Ti)C system with chemical composition of the wear tracks, [20]

5. Summary and future outlook

Based on current published results, the exploration of high entropy ceramics reveals a vast compositional frontier, offering potential for novel materials with enhanced properties and significant implications for future applications. The adaptability in crystal structures, achieved through diverse atom selection, facilitates the tailoring of properties by adjusting composition and structure. Computational methods play a crucial role in predicting thermal expansion, thermal conductivity, and electrical conductivity, elucidating atomistic and electronic structure effects. Precise atomic-level characterization is essential for understanding element distribution and local bonding in these complex systems. To meet the demands for improved fracture toughness, bending strength, and high-temperature properties, concerted efforts are required, including advancements

in powder synthesis and densification methods. These developments aim not only to produce higher quantities of powders but also to create larger ceramic parts without compromising on impurity content or microstructural uniformity, laying the groundwork for future industrial-scale production and commercialization of these groundbreaking materials.

6. References

- [1] Yeh, J. W., Chen, S. K., Lin, S. J., Gan, J. Y., Chin, T. S., Shun, T. T., Chang, S. Y. (2004). Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes. *Advanced engineering materials*, 6(5), 299-303.
- [2] Cantor, B., Chang, I. T. H., Knight, P., Vincent, A. J. B. (2004). Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 375, 213-218.
- [3] Zhang, Y., Zhang, Y. (2019). History of high-entropy materials. *High-Entropy Materials: A Brief Introduction*, 1-33.
- [4] Ambreen Nisar, Cheng Zhang, Benjamin Boesl, Arvind Agarwal Perspective on Challenges and Opportunities in Developing High Entropy-Ultra High Temperature Ceramics, *Ceramics International* Volume 46, Issue 16, Part A, November 2020, 25845-25853.
- [5] Akrami, S., Edalati, P., Fuji, M., Edalati, K. (2021). High-entropy ceramics: Review of principles, production and applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 146, 100644.
- [6] Zhang, R. Z., & Reece, M. J. (2019). Review of high entropy ceramics: design, synthesis, structure and properties. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(39), 22148-22162.
- [7] Oses, C., Toher, C., Curtarolo, S. (2020). High-entropy ceramics. *Nature Reviews Materials*, 5(4), 295-309.
- [8] Feng, L., Fahrenholtz, W. G., & Brenner, D. W. (2021). High-entropy ultra-high-temperature borides and carbides: a new class of materials for extreme environments. *Annual Review of Materials Research*, 51, 165-185.
- [9] Lei, Z., Liu, X., Wang, H., Wu, Y., Jiang, S., Lu, Z. (2019). Development of advanced materials via entropy engineering. *Scripta Materialia*, 165, 164-169.
- [10] Rost, C. M., Sachet, E., Borman, T., Moballeggh, A., Dickey, E. C., Hou, D., Maria, J. P. (2015). Entropy-stabilized oxides. *Nature communications*, 6(1), 8485.
- [11] Gild, J., Zhang, Y., Harrington, T., Jiang, S., Hu, T., Quinn, M. C., Luo, J. (2016). High-entropy metal diborides: a new class of high-entropy materials and a new type of ultrahigh temperature ceramics. *Scientific reports*, 6(1), 37946.
- [12] Castle, E., Csanádi, T., Grasso, S., Dusza, J., Reece, M. (2018). Processing and properties of high-entropy ultra-high temperature carbides. *Scientific reports*, 8(1), 8609.
- [13] Dippo, O. F., Mesgarzadeh, N., Harrington, T. J., Schrader, G. D., Vecchio, K. S. (2020). Bulk high-entropy nitrides and carbonitrides. *Scientific reports*, 10(1), 21288.

- [14] Qin, M., Gild, J., Hu, C., Wang, H., Hoque, M. S. B., Braun, J. L., Luo, J. (2020). Dual-phase high-entropy ultra-high temperature ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 40(15), 5037-5050.
- [15] Luo, S. C., Guo, W. M., Plucknett, K., Lin, H. T. (2021). Fine-grained dual-phase high-entropy ceramics derived from boro/carbothermal reduction. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(6), 3189-3195.
- [16] Huo, S., Chen, L., Liu, X., Kong, Q., Wang, Y., Gu, H., Zhou, Y. (2022). Reactive sintering of dual-phase high-entropy ceramics with superior mechanical properties. *Journal of Materials Science & Technology*, 129, 223-227.
- [17] Toher, C., Oses, C., Esters, M., Hicks, D., Kotsonis, G. N., Rost, C. M., Curtarolo, S. (2022). High-entropy ceramics: Propelling applications through disorder. *MRS Bulletin*, 47(2), 194-202
- [18] Medved', D., Ivor, M., Kovalčíková, A., Múdra, E., Csanádi, T., Sedlák, R., Dusza, J. (2023). Wear behavior of (Mo–Nb–Ta–V–W) C high-entropy carbide. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 20(1), 224-235.
- [19] Wang, Y., Csanádi, T., Zhang, H., Dusza, J., Reece, M. J., Zhang, R. Z. (2020). Enhanced hardness in high-entropy carbides through atomic randomness. *Advanced Theory and Simulations*, 3(9), 2000111.
- [20] Dusza, J., Csanádi, T., Medved', D., Sedlák, R., Vojtko, M., Ivor, M., Šajgalík, P. (2021). Nanoindentation and tribology of a (Hf-Ta-Zr-Nb-Ti) C high-entropy carbide. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(11), 5417-5426.
- [21] Cao, Z., Sun, J., Meng, L., Zhang, K., Zhao, J., Huang, Z., Yun, X. (2023). Progress in densification and toughening of high entropy carbide ceramics. *Journal of Materials Science & Technology*, Volume 161, 20 October 2023, 10-43.



The effect of symmetrical horizontal gradient design on a novel lattice structure

¹Széles Levente, ²Dr. Horváth Richárd

¹*Doctoral School on Materials Sciences and Technologies, Óbuda University, H-1034, Hungary, Budapest, szeles.levente@cl.uni-obuda.hu*

²*Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Óbuda University, H-1034, Hungary, Budapest, horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu*

Abstract

In our former publication a novel Lattice structure was proposed, in hopes of eliminating the buckling behavior of the Auxetic Honeycomb unit cell. For certain designs the buckling behavior is still present. In our current paper symmetrical horizontal gradient design is applied to the buckling specimens in hopes of achieving the desired continuous auxetic behavior. Compressive Finite Element simulations were used to investigate the effect. Only the implementation of extreme horizontal gradient design can in some cases eliminate buckling.

Keywords: Novel lattice, FEM, Gradient design, Lattice design

1. Introduction

Gradient design is a natural form which was not commonly used in product design as conventional manufacturing technologies limit part design. The advent of additive manufacturing (AM) enables the production of complex parts, low density lattices and the implementation of gradient design. Lattice structures in general are lightweight structures which based on their design can provide high strength [1-2], impact resistance [3] and outstanding energy absorption [4-5]. High performance lattice structures can be achieved by gradually changing unit cell parameters, this method is called gradient design. Gradient design can be achieved by changing the material, print and process parameters [6] or by adjusting the geometrical parameters.

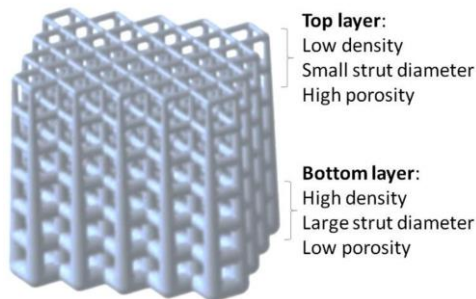


Figure 1. Gradient design examples. [7]

In this study the effect of structural progressivity is examined, the most common and of the most effective structural gradient design is achieved by vertically, continuously, and linearly varying the geometrical parameters of unit cells, making the specimen vertically denser (Figure 1).

Gradient structures absorb more energy [8], can provide large strain protection (before densification) [9], the load bearing capacity also greatly depends on the gradient thickness [10], furthermore the characteristic layer by layer compaction prevent critical sudden failures [11-12].

2. Methods and materials

2.1 Gradient design:

Our aim was to determine the effect gradient design on our novel doubly re-entrant honeycomb Lattice (see Figure 2), in hopes of improving mechanical parameters and deformation behavior of specimens.

When our novel auxetic lattice design was proposed two parameters were used (deg and offset – see Figure 2) to describe it and to evaluate the effect of the novel geometrical design. Mechanical properties and the deformation behavior exhibited parameter dependency, the latter one is not preferred. With gradient design we aim to eliminate the parameter dependency of the deformation behavior, meaning that all specimens exhibit a non-buckling continuous auxetic behavior (the two deformation behaviors are illustrated on right side of Figure 2. Buckling is an unpredictable deformation behavior, not a desired characteristic of high-performance lattices.

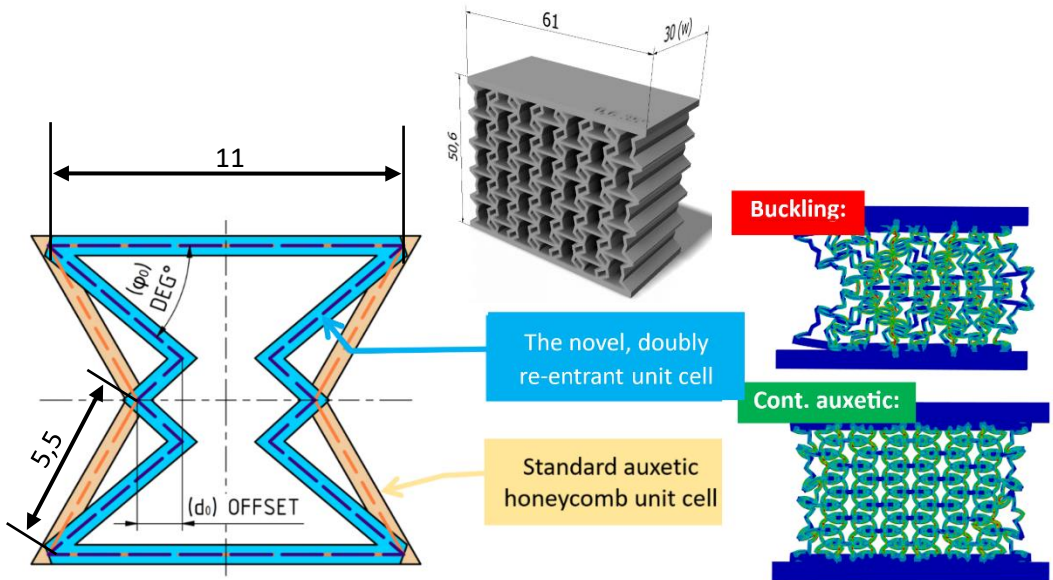


Figure 2. The novel auxetic unit cell and the two parameters used to describe the geometry modification (left side); the two characteristic deformation behaviors (right side).

During the desired auxetic behavior unit cells are pulled towards the center of the specimen when compressed. In prospect of reproducing this behavior on specimens prone to buckling the outer segments (Horizontally speaking) of the specimens were thinned out. In other words, horizontal gradient design was applied to specimens. Figure 3. illustrates the design change.

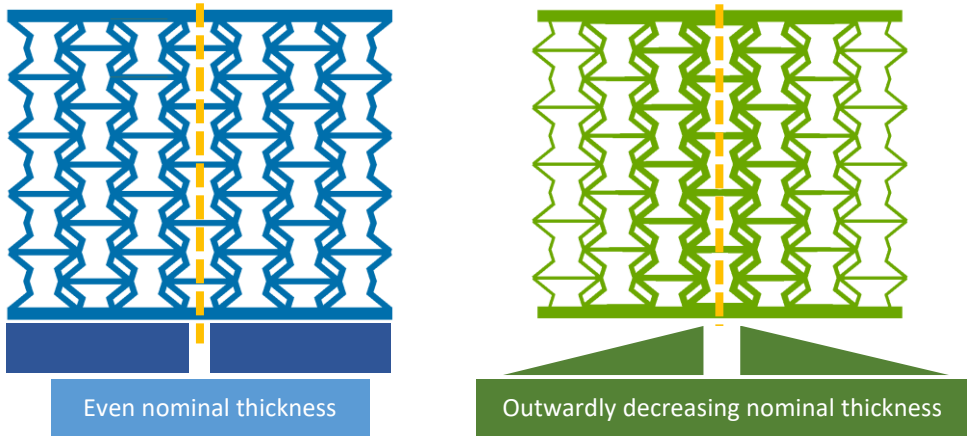


Figure 3. Even thickness, (left) and horizontally graded specimen – with outwardly decreasing nominal thickness (right)

2.2 Specimen modelling:

In this study a linear horizontal gradient design was applied to the specimens. Each specimen consists of 5 by 7 unit cells. To achieve a seamless gradient design the specific thickness of the unit cells changes linearly between two boundary values. These boundary values are the specific thickness values at edge of the unit cells, which are calculated by dividing the desired gradient scale by the horizontal unit cell numbers. Figure 4. illustrates the CAD modelling principle of this horizontal gradient design.

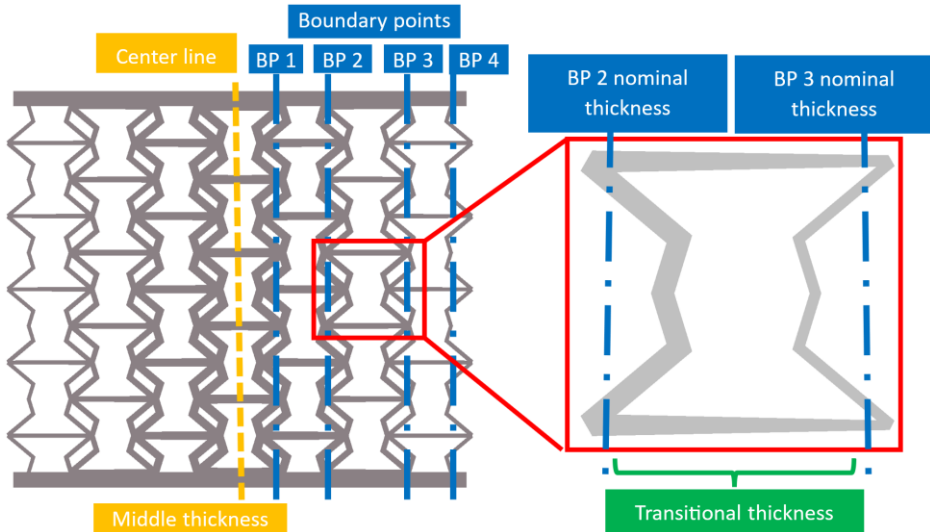


Figure 4. Specimen modelling – nominal thickness

In our previous work where the novel unit cell was proposed one can see that specimens with the following parameters listed in Table 1 buckled laterally, thus only these specimens form the scope of our recent study.

Table 1 Geometrical parameters of specimens prone to buckling based on our previous research

Specimen no.	1	2	3	4
$\varphi_0 (0)$	30	35	40	30
$d_0(\text{mm})$	0.6	0.6	0.6	1.0
Behavioral mechanism	Buckling	Buckling	Buckling	Buckling

2.3 Series of experiments:

The effect of horizontal gradient design was investigated in three grades. Mild, Modest and Extreme horizontal gradient design was applied to each specimen. Mild horizontal gradient design refers to 33% decrease in nominal thickness of specimens, while mild and modest refers to 50% and 66% respectively. The nominal thickness at the edge boundary points (BP1 and BP4) are show in Figure 5, the nominal thickness between these boundary points were calculated following and even distribution. In total 12 specimens formed the scope of our study.

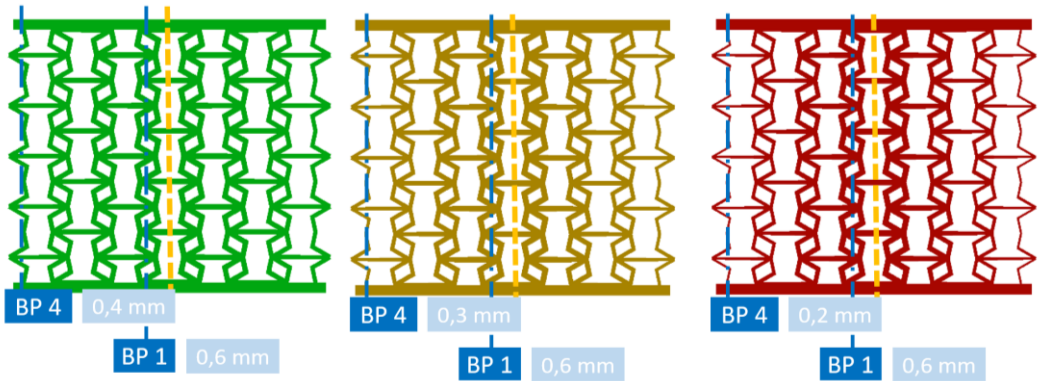


Figure 5. Representation of the three gradient design grades, with nominal thickness values at the edge boundary points.

2.4 FEM simulations

Compression testing was chosen to evaluate the effect of horizontal gradient design. Compressive Finite Element Method (FEM) simulations were carried out on each specimen. The established FEM test environment is shown on Figure 6. Our aim was to represent a real compression testing environment accurately enough; thus, the moving and stationary jaws of a compression testing machine were included in the FEM model.

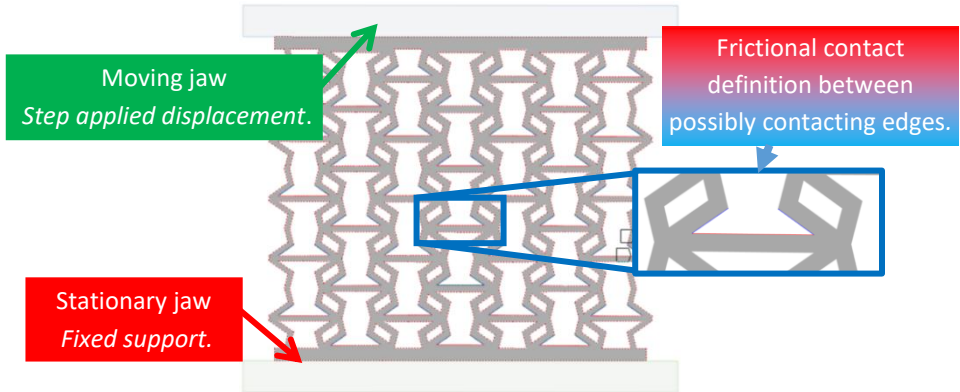


Figure 6. The FEM test environment

Step applied displacement was added at the upper edge of the moving jaw, while the lower edge of the stationary jaw was fixed rigidly. Appropriate contact definition is indispensable, frictional contact was applied between the specimen and the jaws of the compression machine (coefficient of friction: 0,2). Frictional contact was also applied between the potentially contacting edges of the specimen (coefficient of friction: 0.35). Titanium alloy was set as the jaw material, the specimen material model is a Money Rivlin model fitted on the tensile test results of a unique resin mixture. We have chosen to use the aforementioned material model so the effects of horizontal gradient design can be compared against previous measurements. Simulations were carried out in Ansys Workbench 2023.

3. Results:

Compression force, absorbed energy and specific absorbed energy (SAE) are common metrics for result evaluation, thus our assessment is also based on these metrics. Figure 7. shows the compressive force in function of displacement.

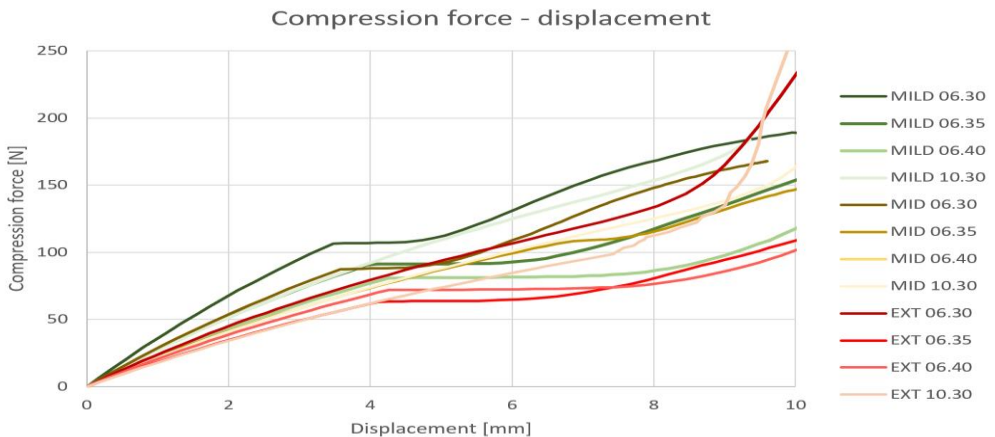


Figure 7. Compression test results.

Figure 8. clearly shows the effect of buckling on the force curve and thus its effect on the absorbed energy. One can see based on the aforementioned parameters why buckling should be avoided.

3.2 Maximum compression force and specific compression force:

For a more transparent comparison of results, the effect of parameters on the maximum compression force were plotted in 3D. Figure 9 shows that maximum compression forces have a local minimum, with modest gradient grade the force values are the lowest, while extreme gradient grade results in the greatest force values. Figure 5 shows, that the more extreme the gradient effect the lower the mass, thus weight specific results must be considered as well. Figure 9 shows the weight specific results, showing the outstanding specific force values of the extreme gradient grade design.

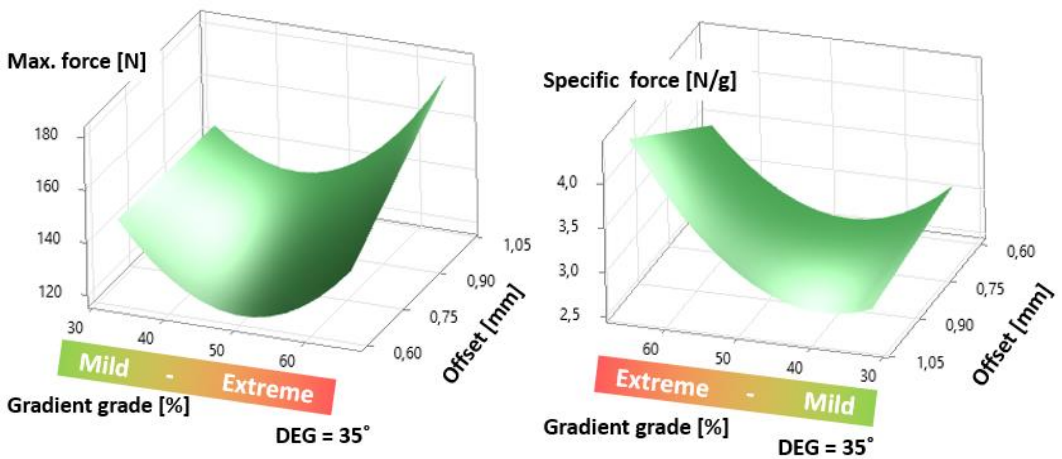


Figure 9. Maximum compression force values

3.3 Absorbed energy and specific absorbed energy:

Absorbed energy is defined by the area under the force – displacement curve, the calculated values are shown on Figure 10. The horizontal gradient design has a negative effect on absorbed energy, which is not necessarily surprising, considering that the specimens with greater gradient grade are lighter (see Figure 5). For a more equal comparison the specific energy absorbed (SEA) should be considered. The right side of Figure 10 illustrates these SEA values, indicating that gradient design has no significant effect on absorbed energy. It can also be stated that at almost all cases specimen 06.30 has the greatest value. This phenomenon can be explained by the geometrical layout of the specimen, figure 10 also shows that this specimen consists of almost straight lines, while the others (for example 06.40) have a much different shape. Straight lines inhibit deformation (until buckling) while in other cases the shape of the specimen predefines the deformation path.

Absorbed energy values were also plotted in 3D, see Figure 11. As one can see, the offset parameter has little to no effect on the absorbed energy, although decreasing the “offset” value results in slightly greater energy absorption capability. On the other hand, decreasing the “deg” parameter value greatly improves the absorbed energy value.

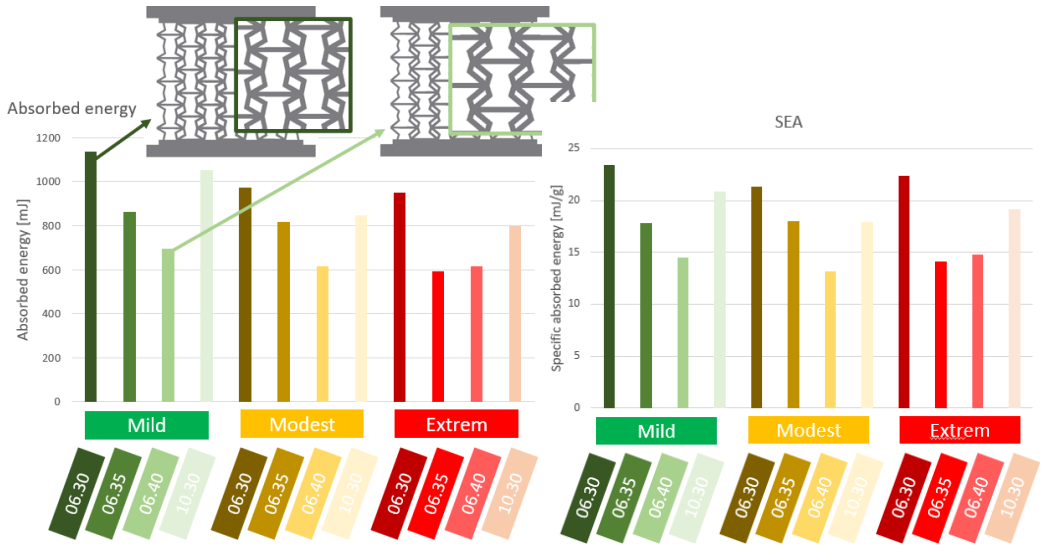


Figure 10. Absorbed and specific absorbed energy values of the studied specimens.

At bottom section of Figure 11, the specific energy and maximum absorbed energy values are displayed as a function of gradient grade, gradient grade having little effect on the specific absorbed energy and negative effect on the total absorbed energy value.

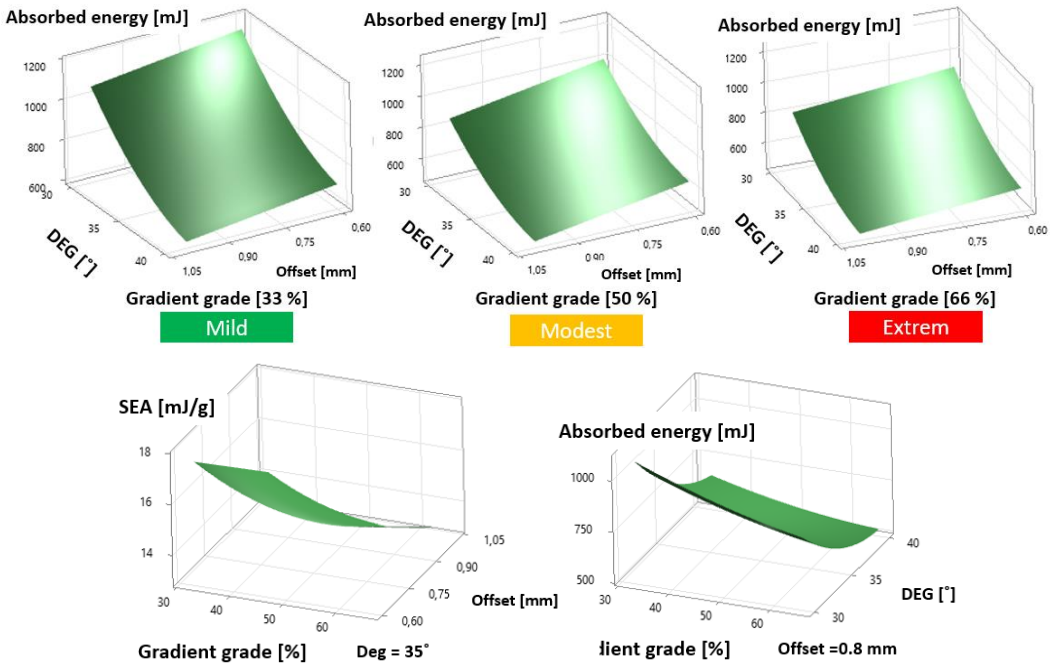


Figure 11. Absorbed and specific absorbed energy values of the studied specimens.

4. Conclusion:

In conclusion the horizontal symmetrical gradient design is not a widely researched, promising way of improving certain parameters of Lattice structures. Although our present research did not achieve the desired objective, the following conclusions can be drawn:

- The horizontal gradient design overall did not achieve the desired parameter independent continuous auxetic deformation behavior for the novel doubly re-entrant honeycomb unit cell.
- Extreme gradient design increases the maximum compressive force.
- Increasing the gradient grade decreases the energy absorption capacity of the specimens.
- Decreasing the “deg” parameter results in increased energy absorption
- Solely the extreme gradient design improved the deformation behavior of the specimens, however the manufacturability of such specimens is difficult.
- The effect of gradient design can be investigated at higher specific deformations.
- It may be of interest to investigate the effect of horizontal gradient design on other samples that behave auxetically by default.

Acknowledgments

The publication of this paper was supported by the ÚNKP-23-3 New National Excellence Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research, Development and Innovation Fund.



5. References

- [1] R. Lakes, Foam Structures with a Negative Poisson's Ratio, *Science* (1979). 235 (1987) 1038–1040. <https://doi.org/10.1126/science.235.4792.1038>.
- [2] J.B. Choi, R.S. Lakes, Fracture toughness of re-entrant foam materials with a negative Poisson's ratio: experiment and analysis, *Int J Fract.* 80 (1996) 73–83. <https://doi.org/10.1007/BF00036481>.
- [3] R.P. Bohara, S. Linforth, T. Nguyen, A. Ghazlan, T. Ngo, Anti-blast and -impact performances of auxetic structures: A review of structures, materials, methods, and fabrications, *Eng Struct.* 276 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115377>.
- [4] M. Shokri Rad, H. Hatami, R. Alipouri, A. Farokhi Nejad, F. Omidinasab, Determination of energy absorption in different cellular auxetic structures, *Mechanics and Industry.* 20 (2019). <https://doi.org/10.1051/meca/2019019>.
- [5] H. Cho, D. Seo, D.N. Kim, Mechanics of auxetic materials, in: *Handbook of Mechanics of Materials*, Springer Singapore, 2019: pp. 733–757. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6884-3_25.
- [6] Zhao, M., Liu, F., Zhou, H., Zhang, T., Zhang, D. Z., & Fu, G. (2023). Effect of the direction

- of the gradient on the mechanical properties and energy absorption of additive manufactured Ti-6Al-4 V functionally graded lattice structures. *Journal of Alloys and Compounds*, 968, 171874.
- [7] Seharang, A., Azman, A. H., & Abdullah, S. (2020). A review on integration of lightweight gradient lattice structures in additive manufacturing parts. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(6), 1687814020916951.
- [8] Maskery, I., Aboulkhair, N. T., Aremu, A. O., Tuck, C. J., Ashcroft, I. A., Wildman, R. D., & Hague, R. J. M. (2016). A mechanical property evaluation of graded density Al-Si10-Mg lattice structures manufactured by selective laser melting. *Materials Science and Engineering: A*, 670, 264-274.
- [9] Yang, L., Mertens, R., Ferrucci, M., Yan, C., Shi, Y., & Yang, S. (2019). Continuous graded Gyroid cellular structures fabricated by selective laser melting: Design, manufacturing and mechanical properties. *Materials & Design*, 162, 394-404.
- [10] Wang, Y., Ren, X., Chen, Z., Jiang, Y., Cao, X., Fang, S., ... & Fang, D. (2020). Numerical and experimental studies on compressive behavior of Gyroid lattice cylindrical shells. *Materials & Design*, 186, 108340.
- [11] Fan, X., Tang, Q., Feng, Q., Ma, S., Song, J., Jin, M., ... & Jin, P. (2021). Design, mechanical properties and energy absorption capability of graded-thickness triply periodic minimal surface structures fabricated by selective laser melting. *International Journal of Mechanical Sciences*, 204, 106586.
- [12] Zhang, M., Yang, Y., Qin, W., Wu, S., Chen, J., & Song, C. (2020). Optimizing the pinch-off problem for gradient triply periodic minimal surface cellular structures manufactured by selective laser melting. *Rapid Prototyping Journal*, 26(10), 1771-1781.



Risk assessment of electric cars from the point of view of European Union parking regulations

¹Omar Trabelsi, ²Tünde Anna Kovács

¹Obuda University, Doctoral School on Safety and Security Sciences, Budapest, Hungary, am.rouch@live.com

¹Obudai University Banki Donat Faculty of Mechanical and Safety Engineering Institute of Mechanical Engineering and Technology Department of Materials Technology. Budapest, Hungary, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

Electric cars are appearing in increasing numbers in traffic. Unfortunately, in addition to their many advantages, they are also a source of danger. Since we find them in traffic and in parking lots together with traditional fossil-powered vehicles, the dangers must be taken into account. The possible breakdown and ignition of electric cars is a significant danger. This can also happen when the battery is not cooled properly and it overheats while parked. Extinguishing electric vehicles is still a great challenge for firefighters and takes a long time. A burning electric car also poses a danger to the cars parked next to it, the fire can escalate, causing an even bigger problem and making extinguishing more difficult. It is necessary to develop parking rules for electric cars to reduce the probability of accidents occurring.

Keywords: electric car, parking, fire, fire fighting

1. Introduction

Few people use public transport, and even to this day, there is still considerable passenger car traffic [1]. This also means the development of the parking system, and the establishment of new parking lots and parking garages is necessary. Vehicles powered by different fuels participate in traffic, such as petrol, diesel, natural gas and electricity. In the last ten years, the number of electric cars in circulation has been increasing. The number of accidents is proportional to the number of cars, but the firefighters are not yet prepared for these cases. Extinguishing the first electric cars that caught fire seemed almost impossible. The fire is usually caused by the ignition of the battery of the electric car. The battery is a key component of electric cars. These batteries are much more sensitive than traditional lead batteries for cars [2-4].

In the event of overheating or damage, they easily catch fire and due to the lithium in them, extinguishing them is not a simple task. In the case of lithium batteries, water cannot be used as an extinguishing agent. In this work, we tried to present the aspects and rules of parking rules, focusing on electric cars. In addition to the parking system, we have also highlighted good practices that can be used as guidelines for a parking system developed based on a new system of criteria [5-7].

2. The Main Vehicle Safety and Security Issues Related to Parking

Vehicle safety and security during parking involve multifaceted considerations that encompass the prevention of theft and vandalism, protection against fire and accidents, and ensuring

accessibility for emergency services. When creating the vehicle parking rules, several aspects were taken into account [8].

2.1 Prevention of Theft and Vandalism

Parking in a secure location is a paramount consideration. Optimal choices include well-lit and monitored areas, such as public parking lots or those equipped with security cameras. Employing security devices like steering locks, car alarms, GPS tracking systems, and wheel locks acts as a deterrent against thieves. Furthermore, locking vehicle doors and windows is essential. To minimize risks, it is advised not to leave valuables visible inside the vehicle. Storing them in the trunk or taking them along is a prudent practice. Additionally, being vigilant about the parking environment and promptly reporting any suspicious activities to authorities enhances overall security [9, 10].

2.2 Protection Against Fire and Accidents

Parking safety extends beyond theft prevention to encompass fire and accident protection. Robust measures include the installation of fire detection and sprinkler systems, as well as safety devices like fire extinguishers and alarms. Ensuring that parked vehicles adhere to safety standards, especially regarding electrical systems and fuel tanks, is paramount. Design considerations for parking lots and garages should prioritize safe manoeuvrability for both vehicles and pedestrians. Adequate space allocation, clear and visible signage, and compliance with safety regulations contribute to a secure parking environment [11].

2.3 Guarantee of Accessibility for Emergency Services

Another critical aspect of parking safety involves ensuring unimpeded access to emergency services. Strict adherence to parking rules, appropriate signage, and raising driver awareness contribute to this accessibility. By preventing parked vehicles from obstructing emergency routes, authorities can respond quickly to situations requiring urgent intervention [12].

3. European Regulations on Secure Parking

The European Safe Parking Regulation outlines specific safety standards and measures aimed at promoting the safety of parked vehicles.

3.1 Safety Standards for Public and Private Parking Lots

Ensuring the safety of parking lots involves multiple elements. Adequate lighting is essential to deter criminal activities. Video surveillance systems, often equipped with real-time monitoring capabilities, provide an additional layer of security. Some parking facilities deploy security systems like alarms, motion sensors, or controlled access systems. The presence of security personnel further enhances the overall security posture. Clear signage displaying safety rules, emergency contact numbers, and other pertinent information is crucial for guiding both drivers and pedestrians [13].

3.2 Fire Prevention and Evacuation Measures

Within the European Union, emphasis on protection against fires and accidents in parking lots is evident in regulations. Compliance involves installing fire detection systems, fire extinguishers, clearly marked emergency exits, and ensuring adequate lighting. Specific construction and design regulations mandate fire-resistant materials and appropriate ventilation systems. Safety measures such as protective barriers and clear floor markings contribute to comprehensive fire prevention strategies. Additionally, regulations may vary between EU countries regarding the accessibility of

emergency services in car parks. Generally, measures such as dedicated parking spaces for emergency vehicles, clear markings, and easy accessibility are encouraged [14].

4. Initiatives and Good Practices in the EU

The European Union has witnessed various initiatives and exemplary practices aimed at enhancing parking security.

4.1 Examples of Countries with Advanced Regulations

- Netherlands: Renowned for its innovative approach, the Netherlands enforces strict standards for parking lots, including requirements for video surveillance systems, quality lighting, and access control devices. Initiatives like the "secure parking label" certify lots meeting high-security criteria.

- Germany: Adopts advanced regulations, setting stringent security standards for public and private parking lots, including video surveillance systems, security gates, and access control devices. The encouragement of technologies like geolocation systems facilitates vehicle recovery.

- France: Implements security standards for public parking lots, emphasizing video surveillance systems and access control devices. Awareness programs further promote responsible parking behaviours [15].

4.2 Using Innovative Technologies to Enhance Parking Security

Technological advancements in the European Union focus on leveraging innovation to bolster parking safety. Advanced video surveillance systems monitor parking areas in real-time, deterring vandalism and aiding in identifying perpetrators. Smart sensors embedded in parking spaces detect vehicle presence, offering real-time information on space availability. Mobile applications facilitate the location of safe and available parking spaces, contributing to efficient traffic flow [16].

4.3 Raising Awareness and Educating Drivers

A plethora of initiatives in the EU concentrates on increasing awareness and educating drivers regarding secure parking practices. Local authorities and road safety bodies conduct awareness campaigns utilizing various communication channels such as posters, commercials, social media, and community events. These efforts emphasize the importance of adhering to parking rules, avoiding access route blockages, and leaving sufficient space for emergency services. Training and education programs provide drivers with insights into parking rules, the consequences of irresponsible parking, and techniques for safe parking. These endeavours collectively contribute to an improved parking safety culture in the EU, mitigating the risks of accidents, rescue blockages, and traffic disruptions [17].

5. Challenges and Prospects

5.1 Harmonization of Regulations in the EU

A significant challenge in the realm of secure parking in Europe revolves around the harmonization of regulations within the European Union. Currently, each EU country maintains its unique rules and standards for safe parking, leading to disparities and challenges for cross-border travellers. Harmonizing regulations across the EU would establish a unified framework for safe parking, simplifying mobility and enhancing driver comprehension of regulations. Furthermore, it could foster improved cooperation between national authorities, particularly in the realms of road safety and vehicle theft prevention. The harmonization of regulations has the potential to define

minimum security standards for car parks, encompassing the installation of surveillance systems, access control devices, and theft prevention measures. Such harmonization would instil confidence in drivers regarding the safety of their vehicles when parked in a foreign country [18].

5.2 Integration of Smart Solutions to Improve Parking Safety

The integration of intelligent solutions represents a promising avenue for enhancing parking safety in the European Union. Leveraging technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and smart sensors holds the potential to revolutionize parking systems. Implementing monitoring and management systems that utilize these technologies to detect potential hazards, such as improperly parked vehicles or suspicious behaviour, is a key challenge. Smart sensors, capable of monitoring parking locations and reporting violations or security situations, offer a practical solution. Real-time parking management through mobile applications enables drivers to quickly locate secure parking spaces, access information on fares and parking rules, and receive alternative routes in congested scenarios. Additionally, the use of AI can analyse parking data to identify trends, behaviour patterns, and risk areas. This analytical capability empowers authorities to take pre-emptive measures and optimize parking management for enhanced overall safety. Future developments in smart parking solutions are expected to introduce advanced features like automatic license plate recognition, dynamic parking space management, and integration with other transportation systems. While the integration of smart solutions presents exciting opportunities to improve parking safety, careful consideration of implementation challenges and safeguarding personal data is imperative. A thoughtful approach, coupled with collaborative efforts among stakeholders, can envision a future where smart parking contributes to a safer and smoother experience for everyone [19].

5.3 Collaboration Between Local Authorities, Businesses, and Citizens

Collaboration among local authorities, businesses, and citizens emerges as a critical challenge and simultaneously a promising prospect in the context of secure parking. To ensure a safe and efficient parking environment, these stakeholders must work in concert. Local authorities play a pivotal role in establishing parking regulations and policies that prioritize safety. They can also initiate awareness programs to educate citizens about secure parking practices. Businesses contribute significantly by offering advanced technological solutions, such as video surveillance systems, mobile applications for parking management, and innovative security devices. Collaboration with local authorities to implement safe parking initiatives in high-risk areas further enhances security. Active citizen participation is vital in respecting parking rules and promptly reporting suspicious behaviour or dangerous situations. This proactive involvement contributes to fostering a culture of safety and preventing parking-related incidents. By fostering close collaboration, local authorities, businesses, and citizens can collectively address contemporary challenges in secure parking, opening new avenues for future opportunities. This collaborative approach is poised to drive the development of innovative solutions, enhance the safety of parked vehicles, and create safer urban environments for everyone [20, 21].

6. Conclusion

The rules currently in force should be tightened to prevent damage. An electric car that catches fire not only burns, but in some cases, it can also explode. In the case of parking, appropriately designed separated parking must be implemented, which means safety for non-electric cars. More space must be provided between the electric vehicles so that there is adequate space for the firefighters. Special fire-extinguishing equipment must also be placed in parking lots designated for electric vehicles so that extinguishing can be started as soon as possible. In the future, the electric

car parking must be continuously monitored and intervention must be initiated at the first sign of smoke or ignition. The use of AI makes it possible to monitor these parking lots 24 hours a day and to intervene in the event of any deviations or unexpected events.

7. References

- [1] Barrett, S., Wills, J., Washington-Ihime, M. (2020). Reclaim the kerb: The future of parking and kerbside management in London. Centre for London. Retrieved from Centre for London website. <https://centreforlondon.org/publication/parking-kerbside-management/> (Accessed: 01.03.2024.)
- [2] Silva, D., Földes, D., Csiszár, C. (2021). Autonomous vehicle use and urban space transformation: A scenario building and analysing method. *Sustainability*, 13(6), 3008.
- [3] Borovskoy, A., Yakovleva, E. (2017). Simulation model of parking spaces through the example of the Belgorod agglomeration. *Transportation Research Procedia*, 20, 80–86
- [4] Brudner, A. (2023). On the management of residential on-street parking: Policies and repercussions. *Transport Policy*, 138, 94–107.
- [5] Cats, O., Zhang, C., Nissan, A. (2016). Survey methodology for measuring parking occupancy: Impacts of an on-street parking pricing scheme in an urban centre. *Transport Policy*, 47(2016), 55–63.
- [6] Chai, H., Rodier, C., Song, J., Zhang, M., Jaller, M. (2020). The impacts of automated vehicles on center city parking demand (No. NCST-UCDRR- 20-17, UCD-ITS-RR-20-17). University of California, Davis, USA.
- [7] Gettman, D., Head, L. (2003). Surrogate safety measures from traffic simulation models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1840(1), 104–115.
- [8] González-González, E., Nogués, S., Stead, D. (2020). Parking futures: preparing European cities for the advent of automated vehicles. *Land Use Policy*, 91, 104010.
- [9] Guo, H., Gao, Z., Yang, X., Zhao, X., & Wang, W. (2012). Modelling travel time under the influence of on-street parking. *Journal of Transportation Engineering*, 138(2), 229–235.
- [10] International Transport Forum. (2015). Urban mobility system upgrade. https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_self-drivingcars.pdf (Accessed: 01.03.2024.)
- [11] Levitate Project Societal Level Impacts of Connected and Automated Vehicles Final Technical Report <https://levitate-project.eu/wp-content/uploads/2022/09/Levitate-Final-Technical-Report-13-Sep-2022.pdf> (Accessed: 01.03.2024.)
- [12] Lim, M. A., Hallare, E. L., Briones, J. G. (2012). Modelling the impact of on-street parking on vehicular traffic: Traffic engineering. LAP Lambert Academic Publishing. 5th ATRANS SYMPOSIUM Student Chapter Session August 24-25, 2012 Bangkok Thailand
- [13] Milakis, D., Van Arem, B., Van Wee, B. (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 21(4), 324–348.
- [14] Nahry, A., Thohirin, A., & Hamid, N. H. A. (2019). Modelling the relationship between on-street parking characteristics and through traffic delay: Parking and traffic delay

- relationship. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: A Physical and Computational Sciences*, 56(2), 29–36.
- [15] Paidi, V., Hakansson, J., Fleyeh, H., Nyberg, R. G. (2022). CO₂ Emissions induced by vehicles cruising for empty parking spaces in an open parking lot. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7), 25.
- [16] Portilla, A. I., Orena, B. A., Berodia, J. L., Díaz, F. J. (2009). Using M/M^∞ Queueing Model in On-Street Parking Maneuvers. *Journal of Transportation Engineering*, 13(8), 527–535.
- [17] Prakash, P., Bandyopadhyaya, R., Sinha, S. (2020). Study of the effect of on-street parking on traffic capacity. In Mathew, T., Joshi, G., Velaga, N., Arkatkar, S. (Eds.), *Transportation research. Lecture notes in civil engineering (Vol. 45)*. Springer
- [18] Simićević, J., Milosavljević, N. (2023). The impact of on-street and off-street parking regulations on parking type choice. *Transportation Planning and Technology*, 25, 1–17.
- [19] Shoup, D. (2007). Cruising for parking. *ACCESS Magazine*, 55(4), 227.
- [20] Xia, B., Wu, J., Wang, J., Fang, Y., Shen, H., Shen, J. (2021). Sustainable renewal methods of urban public parking spaces under the scenario of shared autonomous vehicles (SAV): A review and a proposal. *Sustainability*, 13(7), 3629.
- [21] Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., & Zhang, G. (2015). Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 19, 34–45.

Magyar szekció / Hungarian section



CrN bevonatok keménységének változása oxigén dópolás hatására

Effect of oxygen doping on the hardness of CrN coatings

¹ Széll Attila, ² Horváth Richárd, ³ Berkes Maros Mária

¹ Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Doctoral School on Materials Sciences and Technologies, Budapest, Hungary, szell.attila@phd.uni-obuda.hu

² Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Faculty Research Organisation Centre, Budapest, Hungary, horvath.richard@uni-obuda.hu

³ Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Faculty Research Organisation Centre, Budapest, Hungary, maros.maria@uni-obuda.hu

Összefoglaló

Ebben a kutatómunkában egy klasszikus, a szerszámparban használt egyrétegű CrN bevonatot módosítottunk különböző mértékű oxigénadalékolással. A bevonatokat kiegyensúlyozott egyenáramú magnetronos porlasztással állítottuk elő, független mikrohullámú plazmaforrás segítségével egy ipari bevonógépben. A módosított bevonatok többrétegű architektúrájúak, amelyben a különböző összetételű felső és alaprétegeket gradiens réteg köti össze. A tiszta CrN és a négyféle módosított (Cr-N-O) bevonatot műszeres keménységvizsgálattal jellemeztük. A kapott eredmények alapján megállapítottuk, hogy a bevonat keménysége a reakciógáz oxigéntartalmának változtatásával növelhető és szabályozható.

Kulcsszavak: PVD bevonat, CrN bevonat, magnetronos porlasztás, nanokeménység

Abstract

In this research work, a classic monolayer CrN coating used in the tool industry was modified by oxygen doping at different levels. The coatings were produced by balanced DC magnetron sputtering assisted by an independent microwave plasma source in an industrial coating machine. The modified coatings have a multi-layer architecture in which the top and basic layers with different compositions are connected by a gradient layer. The pure CrN and the four types of modified (Cr-N-O) coatings were characterized by instrumented hardness testing. based on the obtained results it was established that the hardness of the coating can be increased and controlled by changing the oxygen content of the reaction gas.

Keywords: PVD coating, CrN coating, magnetron sputtering, nano hardness

1. Bevezetés

A műanyagipar a szerszám szükségletének kielégítésére a kezdetektől fogva támaszkodik a fémekre, ezáltal a fémelőállításra foglalkozó kohászati üzemek termékeire. A műanyagipari szerszámalapanyagok fejlődése és felhasználása szorosan kapcsolódik a XX. században bekövetkező nagy kohászati és félkész termék előállítás, gyártástechnológiai változásokhoz. Az acélgártás fejlődésével, az ötvözött acélok megjelenésével, majd az évszázad végéhez közeledve

az edzhető, finomszemcsés korrózióálló acél típusok tömeges elterjedésével az iparág megkapta – a leginkább a műanyag feldolgozás követelményeire szabott – szerszám alapanyagokat. Ugyanígy tapasztalható a fém előállító technológiák fejlődésének hozadéka a műanyagipari szerszámoknál használt réztövezetek, valamint alumínium ötvözetek tekintetében is [1]. Mivel a szerszám alapanyagok nem minden esetben tudják maradéktalanul kielégíteni a velük szemben támasztott elvárásokat, illetve a szerszámgyártóknak sok esetben kompromisszumot kell kötniük a költségek csökkentése és a technológiai megvalósíthatóság érdekében, ezért napjainkra a szerszámelemek utólagos felületkezelése mindennapos tevékenységgé vált. Bevonatok alkalmazásával növelni lehet a felületi keménységet, korrózióállóságot, ugyanakkor csökkenti tudjuk a súrlódást és a berágódási (galling) hajlamot. A felületi réteg határfelületi energia értékének módosításával, vagyis hidrofób vagy hidrofíll felület létrehozásával, a feltapadás, illetve a kavitáció okozta károsodások csökkenthetők, amelyet a célszerűen megválasztott bevonatok alkalmazásával valósíthatunk meg [2, 3, 4, 5]. A polírozott vagy strukturált felületű, nagy darabszám előállítására szolgáló szerszámok PVD (Physical Vapour Deposition) bevonatolása az utóbbi évtizedben ugrásszerűen megnőtt. A PVD bevonat műanyag fröccsöntő szerszámokon való alkalmazásának elterjedését főleg az élelmiszeripari és gyógyszeripari késztermékek (tégelyek, kupakok, fecskendők) piacán tapasztalható szigorodó élelmiszerbiztonsági előírások (FDA, NÉBIH) betartására való törekvés generálja. Ezek az előírások legtöbbször megkövetelik a kenőanyag és formaleválasztó anyag mentes gyártást, ami kizárólag fémes szerszám alapanyagok használatával igen nehezen, vagy egyáltalán nem valósítható meg.

Több évtizedes fejlesztés után a PVD bevonatok szerkezeti felépítése hatalmas változáson ment keresztül, a bevonatok az egyszerű egyrétegűről, a többrétegűekre, később gradiens struktúrájúra, majd a fejlett adaptív bevonatokra változtak, ahogy azt Donnet és Erdemir is ismertette áttekintő munkájukban [6]. A PVD bevonatokat fejlettségi szintjük alapján a következő négy generációra osztották, ezzel bemutatva a bevonatszerkezetek fejlődéstörténetét:

- egykomponensű bevonatok [7, 8];
- többrétegű és többkomponensű bevonatok [9, 10];
- gradiens, szuperrács és nanostrukturált bevonatok [11, 12];
- intelligens (adaptatív vagy kaméleon) bevonatok [13, 14].

A kombinálás előnyei egy bevonaton belül abból adódnak, hogy a több, eltérő szerkezetű és összetételű bevonati réteg lehetővé teszi a különböző kedvező tulajdonságok egyidejű kihasználását.

Ezek lehetnek:

- fizikai tulajdonságok, például diffúziós gát és alacsony súrlódás;
- a szubsztrátum és a bevonat mechanikai, illetve kémiai tulajdonságai között meglévő eltérések csökkentése (főleg a tapadás fokozása érdekében);
- a bevonatban kialakuló maradó feszültség közben tartása, csökkentése;
- a repedések megállításának képessége működés közben durva üzemi körülmények között;
- az alkalmazkodóképesség az üzemi feltételek változásához;
- a keménység vagy a szívósság fokozása.

Az általunk létrehozott CrN alapú szendvics bevonatoknál a többrétegű és a gradiens bevonatok kedvező tulajdonságait kombináltuk. Célunk a bevonatrétegek közötti gradiens átmenet létrehozásával – azaz az egyes rétegek közti tulajdonságbeli eltérések finomításával – a teljes bevonat szívósságának és keménységének növelése volt. A létrehozott szendvics bevonat akár egy többrétegű (multilayer) bevonat periodikusan ismétlődő lamellájaként is funkcionálhat.

2. Vizsgált anyagok és technológiák

2.1 A vizsgálati minták előállítása és előkészítése

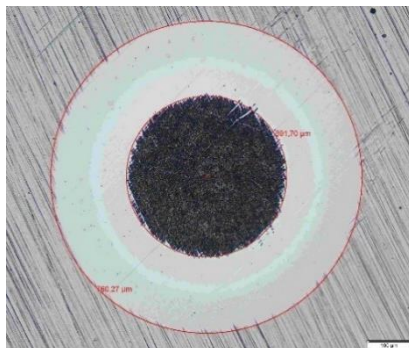
A próbatetek alapanyaga Böhler W302 típusú megalakító szerszámacél, ez az acéltípus elektroszalagos átválasztással készülő, nagytisztaságú, finom karbideloszlású acél. Felhasználását tekintve ez egy általánosan alkalmazható megalakító szerszámacél, elsősorban nyomásos öntőszerszámok formaadó elemeihez használják [15]. Műanyagalakító szerszámok esetében fokozott igénybevételű, abrazív kopásnak kitétt műanyag-alakító formák, hengerek és csigák, valamint kilököcsapok alapanyagául szolgál (akár nitridálva is). A megfelelő módon edzett és magas hőfokon háromszor megeresztett W302 acél a PVD bevonatolás hőmérsékletén már semmilyen fázisátalakuláson nem megy át, így az ebből eredő geometriai és/vagy szilárdsági változásokkal nem kell számolni a vizsgálatok során. A tárcsa alakú próbatetek Ø40,8 mm-es rúdanyagból kerültek kimunkálásra CNC esztergagép és síkköszörű segítségével, a végső méretük Ø30 × 8 mm. Síkköszörült és csiszolt (P320 és P600 polírozó papírokkal) állapotban történt a próbatetek hőkezelése a voestalpine High Performance Metals Hungary Kft. dunaharaszti telephelyén. Az edzés-megeresztést az anyagspecifikációnak megfelelően végezték, az ausztenitesítési hőmérsékletre való hevítéskor az A₁, illetve A₃ átalakulási hőmérsékletek alatt 650 °C-on, illetve 850 °C-on, valamint az ausztenitesítési hőmérsékleten (1050 °C-on) hőkiegyenlítő lépcsőt alkalmaztak [15]. Az 1050 °C-os ausztenitesítési hőmérsékletről 6 bar nyomású nitrogén gázban hűtötték a darabokat, majd a szekunder keményedés érdekében háromszor nagyhőmérsékletű megeresztést alkalmaztak nitrogén védőgázos kemencében. Vickers keménységméréssel bizonyosodtunk meg az elvégzett hőkezelés eredményességéről, a próbatetekeken mért HV keménység 498 és 505 HV60 között változott. Ez megfelel az anyagspecifikációban szereplő értékeknek. A hőkezelés során képződött vékony oxidréteget Borer deconex HT1218 oxideltávolító oldat és üvegyöngy-szórás kombinálásával távolítottuk el. Az oxidmentesített próbatetek mindkét síklapú felületét políroztuk a metallográfiai minták előkészítésénél használt szokásos eljárásnak megfelelően. A próbateteket ultrahangos mosósoron tisztítottuk meg légi kémhatású mosóoldatokkal, majd etilalkoholos törlés után kerültek rögzítésre a bevonatoló kamrában.

2.2 A próbatetek bevonatolása

A próbatetek bevonatolását a Techniques Surfaces Magyarország Kft. tulajdonában lévő, HEF DURFERRIT (42160 Andrezieux-Bouthéon, France) gyártmányú TSD550-040 CCM típusú ipari bevonatoló gépben végeztük el (0/a).



a)



b)

1. ábra A TSD550-040 PVD bevonatoló berendezés (a) és az egyik vizsgált bevonat Calotest lenyomata (b)

A berendezés ún. „kiegyensúlyozott egyenáramú magnetronos porlasztási konfigurációjú”, a kamra két darab katóddal és egy további független mikrohullámú plazmaforrással van felszerelve, amelyek a szubsztrátum tartó felé néznek. A kísérleti adagoknál a plazmaforrás teljesítményét az összes leválasztási lépésben állandó 540 W értéken tartottuk. Porkohászati úton előállított 750 mm × 150 mm × 10 mm méretű króm (99,5 %-os tisztaságú) target-ot porlasztottunk a kísérleti adagok során Ar, N₂ és O₂ (99,99 %-os tisztaságú) kevert gázatmoszférában. A próbatesteket egy planetáris (kettős forgatású) szubsztrátum tartóra helyeztük, amely n = 5 l/min sebességgel forgott a bevonatoló program teljes időtartama alatt. Az ion marató és bevonatoló lépések előtt a kamrát és a szubsztrátumokat 150 °C-ra fűtöttük fel vákuumban 180 perc alatt, majd ezt követően a kamrát ~10⁻⁴ Pa nyomás eléréseig szivattyúztuk, hogy eltávolítsuk a nedvességet és az adszorbeált szennyeződésekét.

A próbatestek ionmaratását Ar⁺ ion bombázással végeztük 55 sccm Ar bevezetés és -150 V impulzusos egyenáramú bias feszültség mellett, az impulzusokat 250 kHz frekvenciára, 950 ns időtartamra (76,25%-os munkaciklus) állítottuk be. Az ionmaratást 540 W mikrohullám teljesítménnyel 60 percig végeztük, míg a target porlasztásos tisztításához 7 percig 5300 W DC teljesítményt alkalmaztunk a katódon.

A kísérleti bevonatok előállítása során az Ar gázáramot 60 sccm állandó értéken tartottuk. A N₂ illetve az O₂ gázáramot külön-külön 0-40 sccm között változtattuk úgy, hogy azok összmenyisége 40 sccm legyen, így módon elérve a bevonatok eltérő nitrogén és oxigén tartalmát (0).

1. táblázat A módosított (Cr+N+O) bevonatok készítésekor alkalmazott N₂ és O₂ mennyisége

Sample	N ₂ , sccm	O ₂ , sccm	N ₂ : O ₂ gas ratio
02	40	0	100% N ₂
04	30	10	75% N ₂ : 25% O ₂
06	20	20	50% N ₂ : 50% O ₂
08	10	30	25% N ₂ : 75% O ₂
10	0	40	100% O ₂

A folyamat során a kamrayomás 0,45 és 0,70 Pa között volt. A bevonatolás során a katódra 5300 W DC teljesítményt kapcsoltunk, a próbatestekre -150 V impulzusos egyenáramú bias feszültséget állítottunk be, az impulzusokat 250 kHz frekvenciára, 950 ns időtartamra (76,25%-os munkaciklus) állítottuk, a mikrohullámú plazmaforrás által leadott teljesítményt 540 W értéken rögzítettük. A target-próbatess távolság 100 mm volt. A teljes bevonatolási idő 180 perc volt a CrN bevonat esetén, a módosított (Cr + N + O) bevonatoknál ez az idő 150 perc volt.

A próbatestekre a módosított bevonatokat három különböző bevonatolási lépésben vittük fel. Az első lépésben a CrN bevonat előállításának szokásos lépését alkalmaztuk, de csak 60 perc időtartamban. A második lépésben egy gradiens réteg felvitele történt 30 perc időtartamban, amelynek során a nitrogén/oxigén gázbevezetés 0 sccm-ről a beállított mértékig (10, 20, 30, 40 sccm) folyamatosan nő, és a maximális értéket a 30. percben éri el. A harmadik, adagonként változó N és O arányú funkcionális réteget 60 perc hosszúságú lépésben vittük fel a gradiens rétegre.

3. A bevonatok vizsgálata

3.1 Rétegvastagság mérés gömbsüveg-koptatással

A próbatestekre felvitt PVD rétegek vastagságának mérését a Techniques Surfaces Magyarország Kft. anyagvizsgáló laboratóriumában található, a Sunplatt Engineering Kft. által gyártott SP83 típusú gömbsüvegkoptató berendezéssel végeztük el. A próbatestek koptatását 30 s koptatási idővel, 200 l/min tengely fordulattal és 0,25 µm átlagos szememéretű polikristályos gyémánt szuszpenzió adagolásával hajtottuk végre. Koptatás után a keletkezett nyomokról optikai mikroszkópos felvételeket készítettünk. A jobb elkülöníthetőség érdekében a koptatási nyomok környékét 3%-os Nitallal megmarattuk. Ezzel a módszerrel az acél alapanyag sötétre maradék és jól megkülönböztethetővé válik az egyébként acél színű (ezüst szürke) bevonatrétegektől. Maratás után optikai mikroszkópos vizsgálattal lemértük az egyes rétegekhez tartozó lenyomat átmérőket, majd az így kapott értékekből kiszámítottuk az egyes rétegek vastagságát, illetve a teljes bevonatvastagságot [16].

Az egyes bevonattípusok koptatása során számított teljes rétegvastagság értékek a 2,8 ÷ 3,5 mm tartományban változtak, az egyes esetekben kialakult alap-, gradiens-illetve funkcionális rétegek vastagságát a 0. mutatja be.

2. táblázat A bevonati rétegek gömbsüveg koptatásos módszerrel meghatározott vastagsága

Sample No	02	04	06	08	10
Introduced gas amount	100 % N ₂	25% O ₂	50% O ₂	75% O ₂	100% O ₂
CrN layer (µm)	3,4	0,9	0,9	0,9	1,0
Gradient layer (µm)	-	0,7	0,5	0,5	0,5
Functional layer (µm)	-	1,2	1,6	1,9	2,0
Total layer thickness (µm)	3,4	2,8	3,0	3,3	3,5

Mind az öt vizsgált bevonat rétegvastagsága megfelel a 3 ± 0,5 µm iparági átlagértéknek. A módosított bevonatok lenyomatain jól elkülöníthető a gradiens réteg, valamint jól látható a hármas rétegfelépítés is (0/b).

A CrN összetételű alapréteg és a gradiens réteg vastagsága nem mutat nagy különbséget az egyes változatok között, a funkcionális rétegek vastagsága között viszont már számottevő különbség van (0). Ez az oxigén atomok Cr-rácsba történő beépülésének a következménye, ami szerkezeti változáshoz, azaz új, eltérő atomelrendezésű fázisok képződéséhez vezet. Ezek a fázisok kisebb fajlagos molekulatömegűek, ennek következtében a bevonat térfogata megnő, ami végső soron a bevonat vastagságának növekedését okozza [17].

3.2 Műszerezett keménységmérés

A műszerezett keménységméréseket az IREIS (Institut de Recherches en Ingénierie des Surfaces) kutatóintézet (F-42160 Andrezieux-Boutheon, Franciaország), központi felülettechnikai laboratóriumában végeztük el. A vizsgálatokhoz a Helmut Fischer GmbH Institut für Elektronik und Messtechnik, (Sindelfingen, Németország) által gyártott FISCHERSCOPE HM2000 automatizált nanobenyomódás elvén mérő műszert használtuk [18, 19, 20]. A műszer működése az ISO 14577 és az ASTM E2546 szabvány szerinti műszerezett benyomódáson alapuló vizsgálati módszeren alapul.

Méréseink során 20 mN terhelőerőt alkalmaztunk, a mérési hely pozicionálása után a keménységmérést a műszer automatikusan hajtotta végre, mintánként 11 mérést végezve. A rögzített erő-elmozdulás adatokból a beépített szoftver számítja ki az anyagjellemzőket. A mérések során számított műszerezett Vickers keménység (HV_{IT}) és műszerezett rugalmassági modulus (E_{IT}) átlagos értékeit, a mérési eredmények szórását és variancia együtthatóját a 0 tartalmazza.

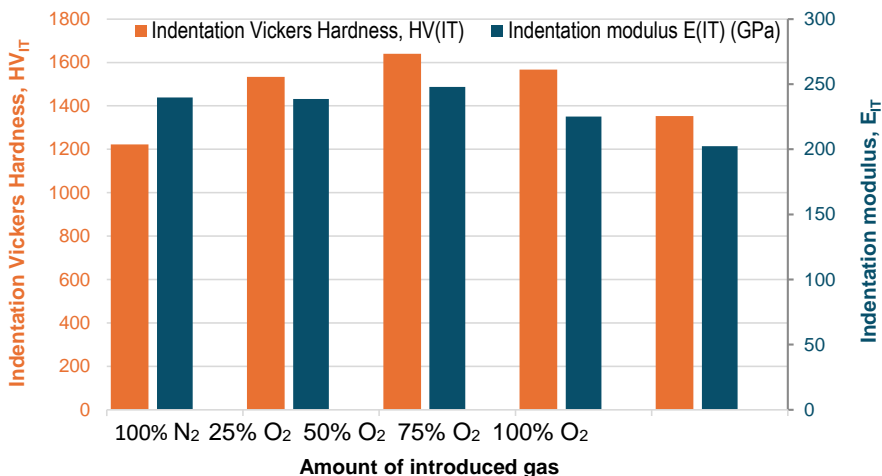
A vizsgálatok alapvető célkitűzése annak vizsgálata volt, hogy a bevonat készítésekor bevezett oxigén gáz arányának növelése milyen módon befolyásolja a bevonat legfontosabb mechanikai tulajdonságait. Ennek megítélése céljából a mért adatokat a 0-n bemutatott diagramban ábrázoltuk, amely alapján a következő megállapítások tehetők:

A mérési módszerből adódó bizonytalanságot, a viszonylag nagy szórást figyelembe véve az oxigén arány 50%-ig tartó növelése nem hoz jelentős változást a modulus értékében, amely a módosítás nélküli (100% N_2) bevonatra jellemző ~ 240 GPa érték közelében mozog. 75% oxigén bevezetés mellett a modulus értéke már jelentősebben, 10%-kal csökken, 100% oxigén bevezetés mellett pedig 20%-kal kisebb a kezdeti, 0 – 50% oxigén bevezetés tartományában mért értékhez képest. A műszerezett keménységméréssel meghatározott Vickers keménység értékeinek változása ettől eltérő tendenciát mutatnak.

3. táblázat A műszerezett keménységméréssel meghatározott HV_{IT} és E_{IT} értékek

Sample	Amount of introduced gas	Indentation Vickers Hardness, HV_{IT}			Indentation modulus E_{IT} (GPa)		
		Average	SD.	Var. coeff, %	Average	SD.	Var. coeff, %
02	100% N_2	1222	147.6	12.07	239.8	35.0964	14.64
04	25% O_2	1533	173.1	11.29	238.7	22.7911	9.55
06	50% O_2	1640	117.2	7.15	247.8	14.1645	5.72
08	75% O_2	1567	191.5	12.22	225.1	18.534	8.23
10	100% O_2	1353	112.4	8.3	202.3	18.4488	9.12

A nitrogént és oxigént tartalmazó reakciógáz keverék alkalmazásakor az oxigén mennyiségének 0 – 50% tartományban való növelésekor a keménység a módosítás nélküli CrN bevonat 1222 HV értékéhez viszonyítva növekszik és 50% oxigén bevezetésnél eléri a maximális 1640 HV értéket. Ez több, mint 400 HV keménységnövekedést jelent a csak nitrogénnel történő bevonatoláshoz képest. 50% fölé növelve az O_2 arányt a keménység csökkenni kezd, de a 100% oxigén bevezetéssel előállított bevonat keménysége – amely 1353 HV –, továbbra is 130 HV-vel magasabb ahhoz képest, mintha csak nitrogént vezetnénk a kamrába.



2. ábra A különböző N₂:O₂ tartalmú gázbevezetéssel készült bevonatok műszerezett keménységméréssel meghatározott keménysége és rugalmassági modulusa

Az oxigénnel dópolt CrN bevonatokon mért keménységértékek változása némileg ellentmond a szakirodalomban található adatoknak. A katódsugaras leválasztással előállított CrNO bevonatoknál a keménység egyenes arányban nő az oxigén tartalom növelésével [21]. A kísérleteink során alkalmazott kiegyensúlyozatlan magnetronos eljárással előállított CrNO bevonatok keménysége viszont a keverék szabály szerint alakul. A tiszta CrN keménysége ebben az esetben 15 GPa, a CrO bevonat keménysége 10 GPa, a CrON bevonat keménysége 9 GPa. A CrON bevonat átmenetet képez a CrN és a Cr₂O₃ fázisok között, egy nanokompozit modellt feltételezve, ahol a keverék szabályt alkalmazva kapjuk a keménység értéket [22]. A vizsgált bevonatoknál használt mikrohullámú plazmaforrás megnöveli a gáz ionok arányát és a bevonatolás folyamatát a nagyobb energiájú katódsugaras eljárás felé tereli. A képződő fázisok mennyisége és aránya röntgen diffrakciós vizsgálattal határozható meg, amely feladat kijelöli a kutatás további irányát.

4. Összefoglalás

Az ebben a cikkben bemutatott eredmények egy olyan K+F programsorozat részeredményei, amelynek célja a fejlett többrétegű bevonatok fejlesztése. A vizsgált többrétegű bevonatok CrN alapú PVD bevonatok, amelyeket oxigénnel módosítottunk, és az elkészült bevonatok mechanikai tulajdonságainak változását vizsgáltuk a bevezetett oxigén mennyiségének függvényében. A bevonatolást ipari berendezésben végeztük, mikrohullámú plazmaforrással segített kiegyensúlyozott magnetronos porlasztást alkalmaztunk 99,5% Cr tartalmú targetről, nitrogén vagy oxigén, illetve a két gáz keverékének bevezetése mellett.

Műszerezett keménység méréssel, 20 mN terhelőerővel meghatároztuk a különböző összetételű bevonatok keménységét. A módosítás nélküli CrN bevonat keménysége 1222 HV, a 50% oxigén arányú reakciógázzal előállított CrNO bevonat keménysége 1640 HV, a 100% oxigén bevezetéssel készült bevonat keménysége pedig 1353 HV értékre adódott. A műszerezett rugalmassági modulus értéke 50% oxigén arányig állandónak tekinthető (239-248 GPa), 75% oxigén aránynál 225 GPa, végül 100% oxigén bevezetésnél 202 GPa értékre csökken. Érdemes megemlíteni, hogy a növekvő oxigén aránnyal párhuzamosan nagyobb lerakódási sebességet mértünk.

A kutatás további iránya a megfigyelt változások anyagszerkezeti hátterének mélyebb elemzése és a tribológiai alkalmazás szempontjából optimális bevonatszerkezet kialakítása.

5. Hivatkozások

- [1] [Uddeholms AB. (2017). UDDEHOLM TOOL STEELS FOR PLASTIC MOULDING. Edition 14, 10.2017, <https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/12/2018/05/Tech-Uddeholm-Steel-for-moulds-EN>
- [2] Ezzatneshan, E. (2017). Study of surface wettability effect on cavitation inception by the implementation of the lattice Boltzmann method. *Physics of Fluids*, 29(11), 113304, doi:10.1063/1.4990876
- [3] Tillmann, W., Stangier, D., Lopes Dias, N. F., Gelinski, N., Stanko, M., Stommel, M., Krebs, E. & Biermann, D. (2019). Reduction of Ejection Forces in Injection Molding by Applying Mechanically Post-Treated CrN and CrAlN PVD Films. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3(4), 88. doi.org/10.3390/jmmp3040088
- [4] Kunigitsu S., Nishida N. & Goto M. (2004). Evaluation of Wettability of PVD Coatings for Molten Polymer. *Journal of The Surface Finishing Society of Japan*, 55(3), 214-217. doi.org/10.4139/sfj.55.214
- [5] Košík, M., Likavčan, L., Bílik, J., & Martinkovič, M. (2014). Diesel Effect Problem Solving During Injection Moulding. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 22(341), 97–102. doi.org/10.2478/rput-2014-0014
- [6] Donnet, C. & Erdemir, A. (2004). Historical developments and new trends in tribological and solid lubricant coatings. *Surface and Coatings Technology*, 180-181, 76-84.
- [7] Shiao, M.-H., & Shieu, F.-S. (2001). A formation mechanism for the macroparticles in arc ion-plated TiN films. *Thin Solid Films*, 386(1), 27–31. doi:10.1016/s0040-6090(00)01918-0
- [8] Navinšek, B., Panjan, P., & Milošev, I. (1997). Industrial applications of CrN (PVD) coatings, deposited at high and low temperatures. *Surface and Coatings Technology*, 97(1-3), 182–191. doi:10.1016/s0257-8972(97)00393-9.
- [9] Holmberg, K., Matthews, A., & Ronkainen, H. (1998). Coatings tribology—contact mechanisms and surface design. *Tribology International*, 31(1-3), 107–120. doi:10.1016/s0301-679x(98)00013-9
- [10] Avila, P. R. T., da Silva, E. P., Rodrigues, A. M., Aristizabal, K., Pineda, F., Coelho, R. S., ... Pinto, H. C. (2019). On manufacturing multilayer-like nanostructures using misorientation gradients in PVD films. *Scientific Reports*, 9(1). doi:10.1038/s41598-019-52226-1
- [11] Voevodin, A., Capano, M., Laube, S. J., Donley, M., & Zabinski, J. (1997). Design of a Ti/TiC/DLC functionally gradient coating based on studies of structural transitions in Ti–C thin films. *Thin Solid Films*, 298(1-2), 107–115. doi:10.1016/s0040-6090(96)09145-6
- [12] Polcar, T., & Cavaleiro, A. (2014). High temperature behavior of nanolayered CrAlTiN coating: Thermal stability, oxidation, and tribological properties. *Surface and Coatings Technology*, 257, 70–77. doi:10.1016/j.surfcoat.2014.07.053
- [13] Walck, S. D., Zabinski, J. S., McDevitt, N. T., & Bultman, J. E. (1997). Characterization of air-annealed, pulsed laser deposited ZnO-WS₂ solid film lubricants by transmission electron microscopy. *Thin Solid Films*, 305(1-2), 130–143. doi:10.1016/s0040-6090(97)00129-6
- [14] Hebbar Kannur, K., Bin Yaqub, T., Huminiuc, T., Polcar, T., Pupier, C., Heau, C., & Cavaleiro, A. (2020). Synthesis and structural properties of Mo-S-N sputtered coatings.

- Applied Surface Science, 146790. doi:10.1016/j.apsusc.2020.146790
- [15] voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, (2023) Böhler W302 Isodisc, W302 ISODISC HU – 04.2023,
https://www.boehler.hu/app/uploads/sites/92/2023/04/productdb/api/w302-isodisc_hu.
- [16] EN ISO 26423:2016 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) - Determination of coating thickness by crater-grinding method (ISO 26423:2009)
- [17] Rothhaar, U., & Oechsner, H. (1993). R.f. magnetron sputter deposition of Cr₂O₃ layers on ceramic Al₂O₃ substrates. *Surface and Coatings Technology*, 59(1-3), 183–186. doi:10.1016/0257-8972(93)90080-8
- [18] Helmut Fischer GmbH, Institut für Elektronik und Messtechnik, Online brochure,
<https://www.helmut-fischer.com/products/fischerscope-hm2000>
- [19] Oliver, W. C., & Pharr, G. M. (1992). An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *Journal of Materials Research*, 7(06), 1564–1583. doi:10.1557/jmr.1992.1564
- [20] Anton Paar GmbH: (2021) Mechanical surface characterization, Online brochure,
<https://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=60171&L=0>
- [21] Vaz, F., Martin, N., & Fenker, M. (2013) *Metallic oxynitride thin films by reactive sputtering and related deposition methods: Processes, properties and applications*. Bentham Science, p 173-178 ISBN: 978-1-60805-157-1. doi:10.2174/97816080515641130101
- [22] Carneiro, E., Parreira, N. M. G., Vuchkov, T., Cavaleiro, A., Ferreira, J., Andritschky, M., & Carvalho, S. (2021). Cr-Based Sputtered Decorative Coatings for Automotive Industry. *Materials*, 14, 5527. doi.org/10.3390/ma14195527



A fizikai és kémiai robbanás összefüggései

Relations between the physical and chemical explosions

¹Bunyitai Ákos, ²Dr. Daruka Norbert

¹ okl. biztonságtechnikai mérnök, robbantástechnikai szakmérnök, ORCID: 0000-0001-8190-7488, E-mail: bunyitai.akos@gmail.com

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, Budapest, Magyarország, ORCID: 0000-0002-7102-1787. E-mail: daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Számos esetben találkozunk manapság a robbantással, mint kifejezéssel. Használják a katonai robbantással végrehajtott műveleteknél, az ipari robbantástechnikában, illetve minden esetben amikor valamilyen nagy hang és fényhatással esetleg tüzesettel kapcsolatos esemény történik. A média felületeken előszeretettel használják ezt a kifejezést, sok esetben hibásan. Arra azonban nem kapunk választ, hogy mit is jelent a mögöttes tartalom. A szakemberek, mint minden területen, képesek a megfelelő terminológiai kifejezéseket alkalmazni, de a közösségi felületek hatására egyre elterjedtebb a téves megnevezés és a félretájékoztatás. Célunk, hogy a legfontosabb robbantástechnikai kifejezéseket és azok mögöttes tartalmát megismertessük a laikus, vagy a téma iránt érdeklődő, de a szakkifejezéseket kevésbé ismerő olvasóval.

Kulcs szavak: robbantás, terminológia, szakmaiság, tájékoztatás.

Abstract

We see a lot of use of the term "blast" these days. It is used in military demolition operations, in industrial demolition, and in all cases where there is some kind of event involving high sound and light levels, possibly fire. The term is used in the media to get more publicity. However, we are not told what the underlying meaning is. Professionals, as in all fields, are able to use the correct terminology, but misnomer and misinformation are becoming more and more common due to the influence of social media. Our aim is to familiarise the lay reader, or the reader who is interested in the subject but less familiar with the terminology, with the most important explosives terms and their underlying meaning.

Keywords: Kulcs szavak: blasting, terminology, professionalism, information.

1. Bevezetés

Napjainkban egyre gyakrabban találkozunk azzal a szalagcímmel, hogy „robbanás”, „robbantás”, „pusztító detonáció”. Ez nem meglepő, hiszen a világban olyan események zajlanak jelenleg is, ahol a katonai műveletek, vagy terrorakciók következtében alkalmaznak robbanótesteket, robbanószerkezeteket, illetve robbanóanyagokat. Ezek működése, pusztítása egyértelműen az emberi élet kioltására irányolnak. Egy másik esetben, például az ipari robbantástechnikában az emberiség szolgálatába állítják a robbanóanyagokat és a robbanószerkezeteket. A robbanóanyagokkal falakat, közeteket bontanak le, elöregedett vagy veszélyesnek ítélt épületeket döntenek le, hogy új

épülhessen a helyébe. Ennél a típusnál a robbanószerkezet, mint kifejezés is új értelmet nyer, hiszen speciális vágótöltetek esetében vagy akár egyedileg kialakított jégrobbantó tölteteknél a védelmi célkitűzések kerülnek előtérbe és nem a pusztítás.

Nem feledkezhetünk meg azonban azokról a balszerencsés esetekről sem, ahol szintén a robbanás van a középpontban, azonban azt nem szándékos emberi beavatkozás idézi elő. Ezek az éghető porok, vagy az éghető gázok, gőzök, ködök robbanásából adódnak. A részletes ismertetésükre a későbbiekben még kitérünk.

2. Robbanások csoportosítása az átalakulás módja szerint

Általánosan elfogadott, hogy „robbanás” alatt értünk minden „nagysebességű gáz/gőz állapotú termékek létrejöttével járó gyorsan lezajló fizikai és/vagy kémiai átalakulás”-t.[1] Ezen definíción elindulva, a robbanás során végbemenő átalakulások formája lehet fizikai vagy kémiai.

2.1 Fizikai robbanás

Fizikai robbanás során egy rövid idő alatt lejátszódó, (jellemzően hő hatására kiváltott) nyomásnövekedéssel járó expanziót értünk. A robbanás során kémiai átalakulás nem megy végbe, az anyag kémiai összetétele nem változik meg. Változatlan marad továbbá a létrejövő gáz tömege és minősége, ezért a robbanást leíró egyenlet az ideális gázok állapotegyenlete, amely alapján a gáznyomás (p) és térfogat (V) szorzatának és a hőmérsékletnek (T) az aránya állandó [1]:

$$\frac{p \times V}{T} = \text{állandó}$$

A fizikai robbanások során nincs jelen robbanóanyag. Ilyen lehet például egy PB gázpalack robbanása, amikor az alumínium palackba töltött, cseppfolyósított propán-bután gázkeverék térfogata külső hő hatására hirtelen megnövekszik és a palack a zárt térben hirtelen létrejövő nyomáskülönbséget nem képes elviselni és kihat. Hasonló folyamat játszódik le a kazán-, tartály, vagy más, nyomás alatt álló berendezés robbanásakor. Ld. 1. ábra.



4. ábra Gázpalack robbanása [<https://pestihirlap.hu/2020/12/31/lakokocsiban-robbant-a-gazpalack>, letöltve: 2023.11.17.]

A fizikai robbanás során a gáz a megnövekedett nyomási energiáját leadja a környezetének, ezzel az exoterm folyamattal hő keletkezik, illetve az expanzió során kihatadt palackról leváló daraboknak mozgási energiát adva repeszként okozhatnak kárt. Fizikai robbanás során nem beszélhetünk „detonáció”-ról (ld. később), a robbanás során végbemenő folyamatot egy „gyors égés”-hez hasonló jelenség kíséri (het)i.

2.2 Kémiai robbanás

A kémiai robbanások során kémiai átalakulás megy végbe robbanóanyag jelenlétével vagy nélküle. A kémiai átalakulások jellegük és terjedési sebességük alapján a következőképpen csoportosíthatók:

- lassú kémiai átalakulás;
- égés ($0,001\text{m/s} < v < 100\text{m/s}$);
- deflagráció: nagysebességű, hangsebesség alatti ($v < 350\text{m/s}$) égés, amely átmenetet képez az égés és a robbanás között;
- robbanás ($350\text{m/s} < v < 4000\text{m/s}$);
- detonáció ($v > 1500\text{m/s}$).

A detonáció robbanóanyag robbanásakor, 1500m/s sebességnél gyorsabban terjedő kémiai átalakulás. „A robbanóanyag kémiai robbanása detonációval azonos a detonáció nélküli robbanás folyamatával, azzal a különbséggel, hogy az energia átadása nyomáshullámfronton (detonációs hullámfronton) keresztül történik.” [2] A detonációsebesség a robbanóanyag fontos jellemzője.

A továbbiakban a robbanóanyag jelenlétével, illetve robbanóanyag jelenléte nélkül végbemenő kémiai átalakulások jellemzőit részletezzük.

3. Robbanóanyag robbanása

Robbanóanyag robbanása alatt a robbanóanyag külső energia közlésre (más néven iniciálásra) elinduló és a másodperc törtrésze alatt végbemenő, az anyagi rendszer szétbomlásával járó, önmagától tovaterjedő kémiai átalakulást értjük, amely során nagy mennyiségű energia szabadul fel, hő és gáz/gőz képződik. Hatását a reakció sebessége, a fejlődő gáz/gőz mennyisége és a keletkező hő nagysága szabja meg. [3]

A robbanás a robbanóanyag körül elhelyezkedő közegben (jellemzően levegő vagy víz) nagy sebességű, szférikus terjedésű lökéshullámot indít el. A lökéshullám mögött vákuum keletkezik, ami a környezetre szívó hatást fejt ki.

A robbanóanyag ebben az esetben a kulcsszó, hiszen annak a reakciója az, amely a kiváltja ezt a jelenséget. Mi is a robbanóanyag: „az olyan gyakorlatilag hasznosítható vegyületek (elegyek, olvadékok), amelyek a megfelelő kezdőgyújtás hatására bekövetkező önfenntartó kémiai átalakulás során, hirtelen (százvezred másodperc) magas hőmérsékletű és igen nagy nyomású, főleg gáztermékekkel alakulnak át, melyek kiterjedésük közben rendkívül nagy teljesítményű munkát végeznek és környezeti hatást váltanak ki, robbanóanyagnak nevezünk.” [4] Robbanóanyag pl. TNT (trinitrotoluol), RDX (hexogén), PETN (nitropenta) és Semtex (PETN/RDX/PIB keverék).

Ezeknél az anyagoknál csak egy gyújtóforrásra van szükség (pl. közvetlen láng, vagy indító töltet stb.) és a reakció végigmegy a robbanóanyagban, ha annak az átmérője meghaladja a kritikus átmérő szélességét.

3.1 Gyújtási lánc

A robbanóanyag robbanásának kiváltásához úgynevezett “gyújtási lánc”-ot szükséges létrehozni, melynek kialakítástól függetlenül közös jellemzője, hogy viszonylag kis (általában termikus) energia közlésével inicilizálja a gyutacsban található kis mennyiségű elsődleges – “primer” – töltetet (pl. ólomazid), amely továbbadva energiáját beindítja a – szintén a gyutacs tokozásában található – másodlagos – “szekunder” – töltetet (pl. nitropenta), a gyutacs így alkalmassá válik a fő töltet beindítására, melyben végigfut a detonáció.

A gyújtási lánc indítása történhet: nyílt lánggal, elektromos szikrával, mechanikai szikrával

vagy vegyi úton. Fontos megjegyezni, hogy amikor az elsődleges (primer) robbanóanyagban megindul a kémiai átalakulás, attól kezdve nincs szükség a levegő oxigénjére. Ez abból is következik, hogy maga a reakció olyan gyors, hogy nincs idő a különböző kémiai kötések felbomlására és újra kötődésére a levegőben lévő oxigén esetében. Ez a folyamat a robbanást követően, kizárólag megfelelő körülmények között megy végbe.

A robbanások esetében a laikusok azt szokták megjegyezni, hogy mekkora a hanghatás, illetve milyen színű a füst, amely a robbanás reakcióját követi. A média munkatársai is ebből szoktak – többnyire nem megfelelő – következtetéseket levonni.

3.2 Ideális “tökéletes” robbanás

Egységnyi robbanóanyag robbanásakor felszabaduló energia abban az esetben a legnagyobb, ha a vegyület (vagy keverék) pontosan annyi oxigént tartalmaz, ami a teljes oxidációs folyamathoz – tehát a szén tartalom szén-dioxiddá, a hidrogén vízzé alakításához – szükséges. Ez tekinthető a robbanóanyagok legkedvezőbb állapotának, ekkor az oxigénegyenlegük nulla. Az ilyen robbanóanyagok robbanásakor fehér füst száll fel.

Pozitív oxigénegyenlegről akkor beszélhetünk, ha a vegyület vagy keverék több oxigént tartalmaz, mint ami az oxidációs folyamathoz szükséges. Jellegetességük az erősen mérgező sárgás-barna füst.

Negatív oxigénegyenleg esetén a robbanóanyag nem tartalmaz megfelelő mennyiségű oxigént, az oxidáció nem tud végigmenni, a szén tartalom egy részéből szén-dioxid helyett szén-monoxid keletkezik. Jellemzője az erősen mérgező fekete füst.

A leírtakból is látszik, hogy a robbanás reakcióját követő füst nem a robbanóanyag pusztító hatásának a jellegetessége, hanem a robbanóanyagban a kémiai folyamathoz rendelkezésre álló oxigén mennyiségéből adódik. Egy adott területen a robbanást követően ezért is fontos a munkavédelmi előírásokat is betartani, hiszen egy-egy kráterben, mélyedésben olyan mérgező anyagok halmozódhatnak fel, amelyek veszélyt jelenthetnek a területen tartózkodók számára.

A robbanóanyag robbanásakor fellépő, emberi szervezetre, tárgyra, épített és természeti környezetre gyakorolt ölü-romboló hatásokat a Katonai Logisztikában megjelent tanulmányunkban foglaltuk össze. [5]

4. Térrobbanás

A térrobbanást nagyon gyakran keverik össze azzal a kémiai reakcióval, amit a robbanóanyag rendkívül gyors átalakulása során történik. De mi is a térrobbanás: „olyan kémiai robbanás, amelyben a résztvevő anyagoknak legalább az egyike gáz halmazállapotú, tehát éghető anyagnak robbanásszerűen gyors oxidációja oxidáló hatású gázban vagy gőzben.” [6] A potenciálisan robbanásveszélyes környezetben levő munkahelyek minimális munkavédelmi követelményeiről szóló rendeletben foglaltak szerint:

- Robbanóképes légtér: az éghető gázok, gőzök, ködök (aerosolok) vagy porok levegővel alkotott olyan keveréke, amelyben normál körülmények között, gyújtóhatásra az égés áttérjed az egész keverékre;
- Potenciálisan robbanásveszélyes környezet: a munkatérnek az a része, ahol robbanóképes légtér kialakulhat.

A porrobbanásnak kialakulásához alapvetően hét feltételnek kell egy adott időpontban teljesülnie:

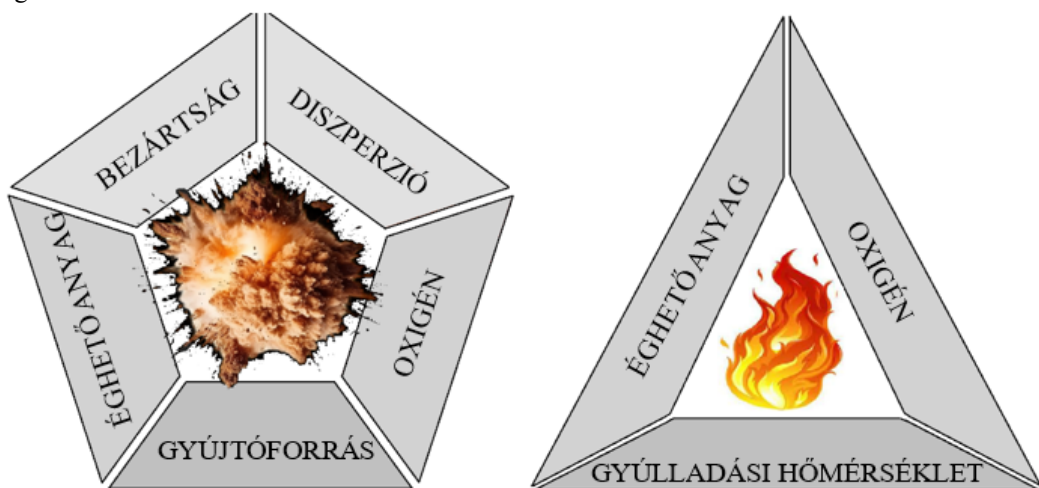
- jelen kell lenni az éghető anyagnak;

- az égés kialakulásához szükséges oxidáló anyag (például a levegő oxigénje);
- a porszemcséknek az adott légtérben diszpergált (lebegő) állapotban kell lennie;
- a porszemcsének 0,5 mm-nél kisebb szemcseméretűnek kell lennie;
- a porfelhőnek zárt vagy részben zárt térben kell lennie;
- a por koncentrációnak az alsó éghetőségi határérték (AÉH) és a felső éghetőségi határérték (FÉH) között kell lennie;
- jelen kell lenni olyan elegendő energiát biztosító gyújtóforrásnak, amely képes a porfelhőt meggyújtani. [7]

Szükségesnek érezzük kitekinteni a gázok, gőzök és ködök kockázatának területeire is. Ezeknek a fokozottan tűz- és robbanásveszélyes anyagoknak a robbanás-veszélyességi szempontból legrelevánsabb tulajdonsága maga az illékonyság, amelynek veszélyességi mértékét a lobbanáspont fejezi ki. Ez a jelzőszám azt a legalacsonyabb hőmérsékletet jelöli, melyen valamilyen gyújtóforrás képes begyújtani az adott anyagot. Fontos megjegyezni, hogy a gyúlékony gázok vagy gőzök levegővel alkotott keverékei csak megfelelő koncentráció esetén képesek begyulladni. Ez a határ, ahogy a fent említett porok esetében is az alsó robbanási határérték (ARH/AÉH), illetve a felső robbanási határérték (FRH/FÉH) értékek közé fog esni. Az alsó robbanási határértéken a gáz vagy gőz legalacsonyabb koncentrációja úgy kerül meghatározásra, hogy kísérletekkel igazolva olyan értékek kerüljenek rögzítésre, ahol a begyújtás után a lángok terjedése még megfigyelhető. A felső robbanási határérték esetén ez azt a pontot jelenti, ahol még éppen terjednek a lángok. A gázok, gőzök, ködök robbanási feltételei a következők:

- jelen kell lenni az éghető anyagnak (gáz, gőz, köd);
- az égés kialakulásához szükséges oxidáló anyag (például a levegő oxigénje);
- a gáz, gőz, köd koncentrációnak az alsó éghetőségi határérték (AÉH) és a felső éghetőségi határérték (FÉH) között kell lennie;
- jelen kell lenni olyan elegendő energiát biztosító gyújtóforrásnak, amely képes a éghető gázt, gőzt vagy ködöt meggyújtani.

A potenciálisan robbanásveszélyes tér kialakulásának kérdéseivel az ATEX irányelvek foglalkoznak részletesen.



2. ábra A térrobbanás és az égés feltételei [szerkesztették a szerzők]

Azokon a területeken, ahol a robbanásveszélyes környezet kialakulhat az Európai Unió irányelveket, az ATEX előírásait kell alkalmazni. Ez a betűszó kettő darab, a robbanóképes légkörökből eredő kockázatok kezelésére irányuló irányelvet foglal magába jelenleg.

Az egyik az 1999/92/EK irányelv – ATEX 137 –, ami a robbanásveszélyes környezetben elhelyezkedő munkahelyekre vonatkozik. Ez az irányelv a munkahelyi biztonság és egészségvédelem minimumkövetelményeit fogalmazza meg, vagyis a munkáltató kötelezettségeit foglalja össze. Ezek a kötelezettségek a potenciálisan robbanásveszélyes környezet zónába sorolására, a robbanási kockázatok felmérésére, illetve a robbanóképes légkörök tekintetében megfelelően tanúsított gépek, eszközök és berendezések kontraszelektálására fókuszál.

A második a 2014/34/EU irányelv – ATEX 114 –, ami a robbanásveszélyes környezetben alkalmazásra kerülő gépek, eszközök és berendezések esetében releváns, vagyis a gyártmányokra vonatkozik. Az irányelv harmonizálja a robbanásveszélyes légkör előfordulásának estére megfeleltetett (tanúsítással rendelkező) gépek, eszközök és berendezések gyártói számára megfogalmazott (kötelező érvényű) alapvető biztonsági és egészségvédelmi kötelezettségeket (EHSR – Essential Health and Safety Requirements).

5. Összegzés

Jelen tanulmányunkban elválasztásra került a fizikai és kémiai robbanás fogalma. A hírekben napi szinten előforduló példákon keresztül, közérthetően mutattuk be a robbanások jellemzőit, külön részletezve a kémiai reakcióval járó robbanóanyag jelenlétével és a nélkül lezajló robbanásokat.

Egyedül robbanóanyag robbanására jellemző fogalmak többek között a „gyújtási lánc”, „primer és szekunder töltet”, „detonáció” és „oxigénegyenleg”.

A téma iránt érdeklődők számára, illetve a szakmai terminológiát nem ismerők figyelmébe ajánljuk a jelen tanulmányunkban szereplőknél jóval részletesebb, mélyrehatóbb ismeret biztosító képzést, az Óbudai Egyetem Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzést.

6. Hivatkozások

- [1] Diószegi Imre (2021). Robbanóanyagok kémiája előadás, 2021.09.18. Óbudai Egyetem Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés.
- [2] Földesi János (1988). Bányászati robbantástechnika I., Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Kar, Tankönyvkiadó, Budapest, 1988. pp. 15.
- [3] Bunyitai Ákos (2023). Kiemelt létesítmények bűnös szándékú robbantás elleni védelmének lehetőségei. Szakdolgozat, ÓE BGK, Budapest, 2023.
- [4] Lukács László (1997). A katonai robbantástechnika és a környezet-védelem - egyetemi jegyzet, ZMNE Hadtudományi kar, Műszaki harcászati-hadműveleti tanszék, Budapest, 1997.
- [5] Daruka Norbert – Bunyitai Ákos (2023). Robbanóanyaggal elkövetett támadások emberi szervezetre, tárgyra, épített és természeti környezetre gyakorolt hatásai. Katonai Logisztika, 2023./3-4.
- [6] Norbert Daruka – László Szalkai (2023): Risks related to the handling of explosives with regard to occupational safety and health. Trhacia Technika 2023. Stará Lesná p.:10.
- [7] Parádi Ervin (2019): Robbanásbiztonság-technika VII. Amit tudni érdemes a robbanásveszélyes porokról. 170. Villanszerelők Lapja, épületvillamossági szaklap, XVIII. évfolyam, 9./2019. pp. 6-10.



A nikkellel való ötvözés hatása a hidegen hengerelt léces martenzites acélok újrakristályosodási hajlamára

Nickel alloying effect on recrystallization tendency of cold rolled lath martensitic low carbon steels

Fábián Enikő Réka

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Különböző nikkeltartalmú (1%, 3%, 5%) lágyacélmintáknál ($C=0,15\%$) léces martenzites szövetszerkezetet hoztunk létre 1100°C -ról jeges vízben hűtve, majd a mintákat hidegen hengereltük. A 75%-os mértékben alakított mintákat különböző hőmérsékleteken hőkezeltük. Az újrakristályosodás jelei a $Ni=5\%$ tartalmú mintáknál jelentek meg leghamarabb. A $Ni=1-3\%$ tartalmú léces martenzit 400°C -ig stabil, részleges újrakristályosodás $550-600^\circ\text{C}$ -on következik be, de 650°C -on 30 percig való hőkezelés hatására a keménység $200\text{HV}_0,5$ alá esett minden egyes mintánál, bár a szövetszerkezet még nem homogén.

Kulcs szavak: léces martenzit, nikkeltartalom, hidegalakítottág, hőkezelés

Abstract

For various nickel contents (1%, 3%, 5%) of low carbon steel ($C=0.15\%$), a lath martensitic microstructure was created by cooling from 1100°C in ice water, after which the samples were cold rolled. The samples with 75% deformation (reduction) were heat treated at different temperatures. The samples containing $Ni=5\%$ showed the earliest signs of recrystallisation. The lath martensite with $Ni=1-3\%$ content was stable up to 400°C , partial recrystallisation occurring at $550-600^\circ\text{C}$. The hardness of the each samples annealed at 650°C for 30 min was below $200\text{HV}_{0.5}$, although the microstructure was not yet homogeneous.

Keywords: lath martensite, nickel content, cold deformation, annealing

1. Bevezetés

A léces martenzit kis szénartalmú acélokban ($C < 0,3\%$) alakul ki ausztenites állapotból gyors hűtés hatására [1-3]. A léces martenzit egymással párhuzamosan elhelyezkedő, parketta- vagy lécszerű krisztallitokból úgynevezett lécekből áll. A léces martenzit jellegzetes többszintű mikroszerkezettel rendelkezik. Az átalakuló ausztenit néhány köteget (packets) tartalmaz. Az egyes kötegek nagyszögű szemcsehatárokkal határolt blokkokból állnak, amelyeket pedig lécek alkotják. Ennek a léces martenzites szövetnek a relatív jó alakíthatósága és keménysége miatt a jelentős szerepe lehet a szerkezeti anyagok fejlesztésében [10]. Irodalmi adatok azt mutatják, hogy $0,6\%C$ tartalom alatt jelenik meg ez a struktúra, de $0,3\% C$ alatt jelenik meg tisztán ez a szerkezet [2,3]. Léces martenzites szövetszerkezetek kialakulásával, kristálytani vizsgálatával kapcsolatban számos

cikk jelent meg az utóbbi években [3-8]. A C-tartalom növelésével egyre finomabb a blokk, illetve a kötegek szerkezete [7-8] A karbon tartalom és az ötvözöttség függvényében a kutatók nagy hőmérsékletről gyors hűtéssel hozták létre a léces martenzitet [7-10]. Minél kisebb a széntartalma az acélnek a tiszta lécesmartenzites szövet létrehozása érdekében annál nagyobb kell legyen az ausztenítésési hőmérséklet és gyorsabb a hűtési sebesség [9-10]. Bórral mikroötvözött nagyszilárdságú acéloban (C=0,25%, Mn=1,20%) már 950°C-ról indulva, 100°C/s hűtési sebességgel való hűtéssel létrehozható közel 100% léces martenzit 50°C/s hűtési sebességgel közel 71% martenzit és 29% ferrit alakul ki [11]. A Egy másik kísérletsorozatban Morito és társai [12] nagy nikkeltartalmú maraging acélt és két bórral mikroötvözött nagyon kis C-tartalmú acélt vizsgáltak. Mindhárom acélt 1200°C-os ausztenítésési hőmérsékletéről hűtötték jeges sós vízben A vizsgálatok azt mutatták, hogy a nagy nikkeltartalmú (18Ni–8Co–5Mo) maraging acélnál nagyobb primer ausztenites szemcseméret, de a kötegek, illetve a blokkok mérete alig nagyobb a bórral mikroötvözött mangánnal gyengénötvözött acélokénál, a szubblokkok, meg finomabbak, a lécek hasonló szélességűek., és ezek a jellegzetes méretek hasonlóak a kis karbontartalmú ötvözetlen acéloknál tapasztaltakhoz [7].

Nagy szelvénymeretű nemesíthető acélokat szokás nikkellel kisebb, nagyobb mértékben ötvözni, amely szívósabbá teszi a szövetszerkezetet [13]. Az ilyen acélok hagyományos nemesítés során tetragonális martenzitből sferoidizálódnak, de mi történik a kis karbontartalmú, különböző nikkeltartalmú acélok gyorshűtése során? Felmerült a kérdés, hogy ezek az acélok gyors hűtés után mennyire lesznek alakváltozó képesek.

Miközben a martenzites szövetszerkezetű acélok megeresztésekor lejátszódó folyamatokat sokan vizsgálták, a képlékeny alakváltozásra képes lécesmartenzites szövetszerkezetű anyagok alakítás utáni hőkezelésekor lejátszódó folyamatok megfigyelésével kevés szerző foglalkozott [14].

2. Kísérleti eszközök, anyagok

A vizsgált minták vegyi összetételét az 1. táblázatban láthatjuk.

1. táblázat. A vizsgált minták vegyi összetétele

	C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	V	Ti	Mo	Ni
1	0,156	0,29	1,09	0,051	0,018	0,012	0,071	0,015	0,015	0,021	1,05
2	0,132	0,256	0,96	0,05	0,016	0,01	0,069	0,014	0,014	0,016	2,96
3	0,083	0,233	0,899	0,051	0,014	0,009	0,069	0,013	0,015	0,022	4,94

Az ASM Handbook iránymutatása szerint a perlites átalakulás:

$$A_1(^{\circ}C) = 723 - 10,7(Mn) - 16,9(Ni) + 29,1(Si) + 16,9(Cr) + 290(As) + 6,38(W), \quad (1)$$

az ausztenites átalakulás:

$$A_3(^{\circ}C) = 910 - 203(\sqrt{C}) - 15,2(Ni) + 44,7(Si) + 104(V) + 31,5(Mo) + 13,1(W) \quad (2)$$

képlettel számítható.

A kis karbontartalmú acélok martenzites átalakulási kezdő hőmérséklete nagy. Az ötvözők hatását a

$$M_s(^{\circ}C) = 512 - 453(C) - 16,9(Ni) + 15(Cr) - 9,5(Mo) + 217(C2) - 71,5(C)(Mn) - 67,6(C)(Cr) \quad (3)$$

összefüggés mutatja.[15]

A kísérlet során vizsgált acélok átalakulási hőmérsékletét a fenti egyenletekkel számolva a 2. táblázatban láthatjuk.

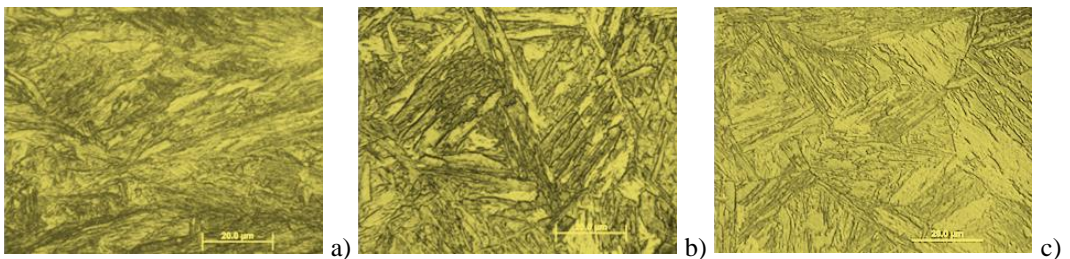
2. táblázat: A vizsgált ötvözetekhez tartozó átalakulási hőmérsékletek

Ötvöző	A ₁ [°C]	A ₃ [°C]	Ms [°C]
Ni: 1%	705,44	832,05	420,48
Ni: 3%	671,64	801,65	386,68
Ni: 5%	637,84	771,25	352,88

Kísérletek érdekében 20×5×50mm mintadarabokat vágunk. A2. táblázatból látható hogy a nikkeltartalom növelése az A1 és az A3 hőmérséklet csökkenését hozza magával de az irodalmi adatoknak megfelelően léces martenzites szövet létrehozása érdekében mintákat 1100°C-on asztenitesítettük 20 perces időtartamban, és jeges vízben hűtöttük le.. A szövetszerkezet vizsgálata érdekében hossz-, kereszt- és lapcsiszolatokon vizsgáltuk a minták szövetszerkezetében bekövetkező változásokat Olimpos DSX1000 fénymikroszkópon. A valamilyen szempontból különlegesebben viselkedő mintákat Philips XL30 típusú pásztázó elektronmikroszkópon is megvizsgáltuk A polírozott és maratott csiszolatokon ZWICK típusú mikrokeménységmérő berendezéssel Vickers keménységet mértünk. az általánosság érdekében kisterhelésű mikrokeménységmérést végeztünk, 500g-os terheléssel, de a megjelenő fázisok megkülönböztetése érdekében a mintákon 100g-os terheléssel is elvégeztük a keménységméréseket.

3. Vizsgálati eredmények

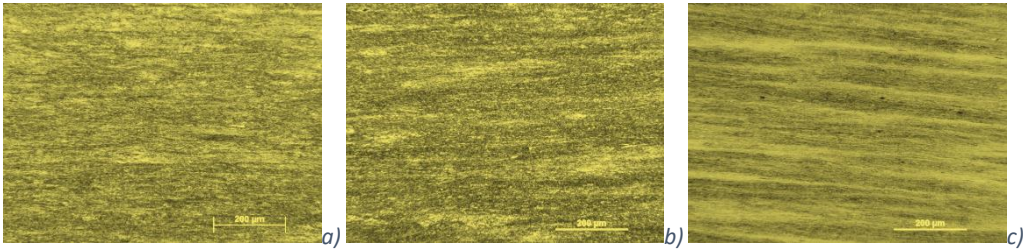
Minden egyes mintánál az ausztenitesítést követő jeges vízben való hűtés hatására kialakult a léces martenzites szövetszerkezet (1. ábra). A primer ausztenit szemcsehatárokon sem alakult ki más jellegű szövetszerkezet. A minták keménysége 23-25HRC-ről 33-38-HRC-re nőtt. (legnagyobb keménysége a legkisebb nikkeltartalmú mintának volt



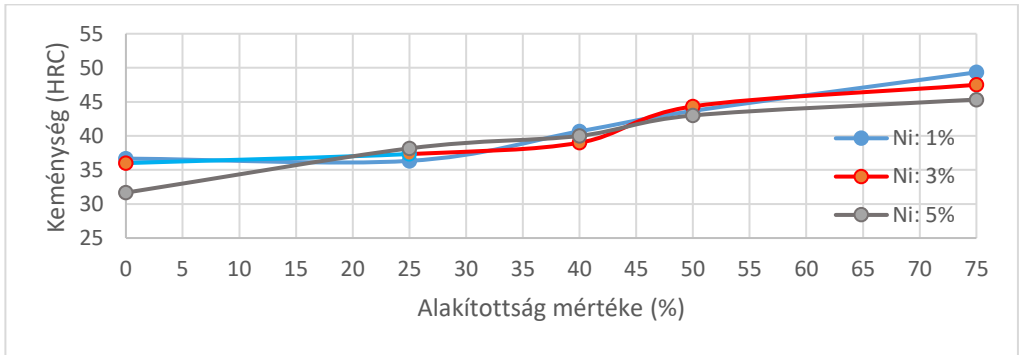
1. ábra: A különböző összetételű acélok szövetszerkezete gyors-hűtés után a) Ni= 1% b) Ni = 3% c) Ni = 5%

A mintákat duó hengerálványon 75%-os fogyással hengereztük. Ahogy azt a 2. ábrán is láthatjuk alakítás hatására a szemcse szerkezet nyújtottá válik. A nyúlás fénymikroszkópon kezdetben ($\epsilon=25\%$) csak a hosszirányú csiszolatokon volt megfigyelhető, ám az alakítás fokozásával a szemcsék nyújtottsága erőteljessé vált, de 75 %-os alakítottság mellett sem hasadtak fel a minták.

Keménységnövekedés mindegyik mintánál bekövetkezett (a diszlokációsűrűség növekedés hatására), de a trend jellemzően megmaradt. Az 1% nikkeltartalmú minta keménysége 50 HRC lett, míg az 5% ni tartalmú minta 45 HRC (3. ábra).

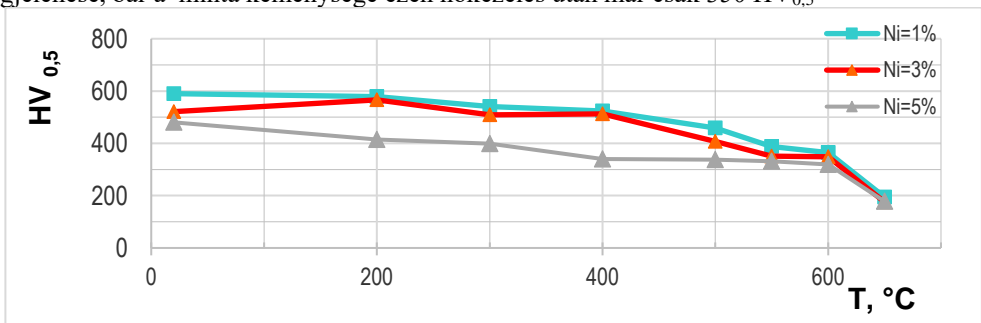


2. ábra: Hosszcsiszolatok 100× nagyításban készült felvételek $\epsilon=75\%$ alakítás után
a) Ni= 1% b) Ni=3% c) Ni=5%

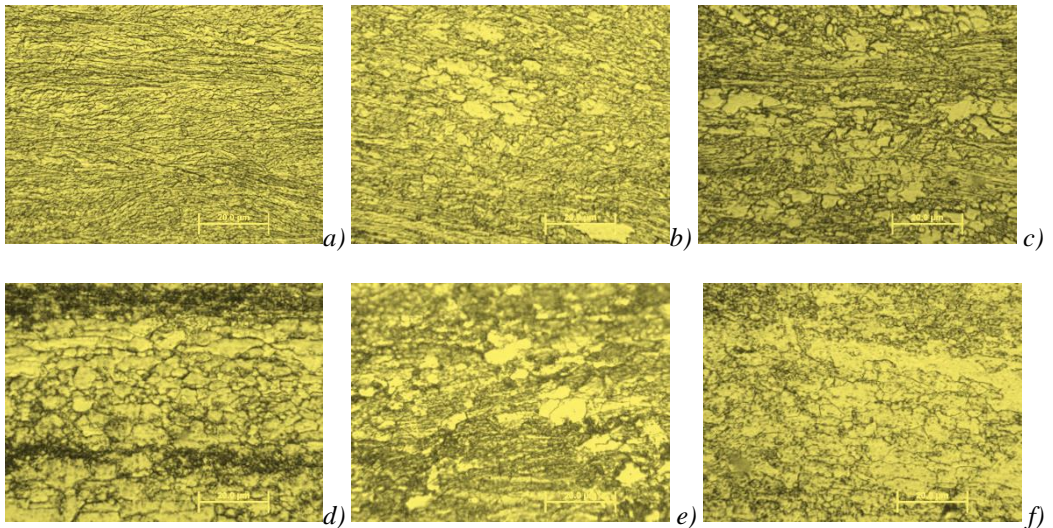


3. ábra: Alakítás hatása a nikkellel különböző mértékben ötvözött minták keménységére

A 75%-os alakváltozást elszenvedett mintákat különböző hőmérsékleteken (200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 550°C, 600°C és 650°C) tartottuk ellenalás fűtésű kemencében 30 percig, majd levegőn hűtöttük a mintákat. A minták keménysége a hőmérséklet emelésével egyre csökkent (4. ábra). Leggyorsabb csökkenést a Ni=5%- tartalmú minta mutatott. Ez a minta már 200°C-on , 30 percig való tartózkodás után 50 HV_{0,5}-t veszített a keménységéből. A 3% nikkeltartalmú mintánál csak az 500°C-on való hőntartás hozott jelentősebb keménységcsökkenést. A Ni=1%-os mintánál még 600°C-on való hőkezelés után sem egyértelmű a szövetszerkezetben az újrakristályosodás megjelenése, bár a minta keménysége ezen hőkezelés után már csak 350 HV_{0,5}



4. ábra: Különböző hőmérsékleteken történő megeresztés hatása $\epsilon=75\%$ -ban alakított mintáknál



5. ábra. A különböző Ni tartalmú acél szövetszerkezete különböző hőmérsékletű hőntartások után
 a) Ni =1%, T=600°C b) Ni =3%, T=600°C c) Ni =5% T=600°C d) Ni =1%, T=650°C e) Ni =3%,
 T=650°C f) Ni =5% T=650°C. Eredeti nagytás 1000x

4. Következtetés

30 percig tartó 1100°C hőntartást követő jegesvízben való hűtés mindegyik kis széntartalmú, de nikkellel különböző módon ötvözött (1%,3%,5%) acélnál tiszta lécesmartenzites szövet jött létre. Mindegyik acéltípusnál felhasadás nélkül sikerült 75%-os fogyást elérni. Az alakítások során a minták szövetszerkezetében a szemcsék nyújtottakká váltak és a minták keménysége 30-38 HRC-ről 45-50 HRC-re nőtt. A legnagyobb keménysége a legkisebb nikkeltartalmú acélnak lett, de ennek az acélnak volt a legkisebb a karbontartalma is.

Az erőteljesen alakított minták különböző hőmérsékleteken való hőkezelése során azt tapasztaltuk, hogy a nikkeltartalom növelése az újrakristályosodás megjelenését gyorsítja. Az újrakristályosodás jelei a Ni=5% tartalmú mintáknál jelentek meg leghamarabb, de 650°C-on 30 percig való tartozkodás alatt minden egyes mintánál bekövetkezett az újrakristályosodás.

5. Hivatkozások

- [1] [Vander Voort G.F (2009) Martensite and Retained Austenite - Buehler Ltd., Lake Bluff, IL. Industrial Heating Magazine September
- [2] Stormvinter A, Peter Hedström P, Borgenstam A: (2011) Investigation of Lath and Plate Martensite in a Carbon Steel Solid State Phenomena Vols. 172-174 pp 61-66, ISSN 1012-0394 ; DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.172-174.61
- [3] Galindo-Nava E.I, Rivera-Díaz-del-Castillo P.E.J.: (2016), Understanding the factors controlling the hardness in martensitic steels, Scripta Materialia, Vol 110, Pp 96-100, ISSN 1359-6462, <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2015.08.010>.

- [4] Sandvik B.P.J. , Wayman C.M.: (1983) Crystallography and substructure of lath martensite formed in carbon steels. *Metallography*, 16(2):199-227,. [https://doi.org/10.1016/0026-0800\(83\)90005-8](https://doi.org/10.1016/0026-0800(83)90005-8)
- [5] Kelly P.M. (1992) : Crystallography of lath martensite in steels. *Materials Transactions, JIM (Japan)*, 33(3):235-242, <https://doi.org/10.2320/matertrans1989.33.235>
- [6] Ball J.M., Carstensen C.: (1997) Nonclassical austenite-martensite interfaces. *Le Journal de Physique IV*, 7(C5):35-40, <http://dx.doi.org/10.1051/jp4:1997505>
- [7] Morito S, Tanaka H., Konishi R., Furuhashi T. & Maki T.: (2003) The morphology and crystallography of lath martensite in Fe-C alloys, *Acta Mater.* 51 pp 1789 1799. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(02\)00577-3](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(02)00577-3)
- [8] Morito S., Adachi Y., Ohba T.: (2009) Morphology and Crystallography of Sub-Blocks, *Materials Transactions*, Vol. 50, No. 8 pp. 1919 to 1923
- [9] Fábián E.R, Kótai Á. (2018). A léces martenzit viselkedése hőkezelés hatására. *Acta Materialia Transylvanica* 1/1.pp 26–30. <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0007>
- [10] Szabó P J `2012): Intenzív alakítási és hőkezelési folyamatok mikroszerkezetre gyakorolt hatásának értelmezése visszaszórtelektron diffrakcióval, BME 2012, MTA doktori mű
- [11] Lopez Granados, N M; Salinas Rodriguez, A `(2016) EBSD Investigation on Effect of Cooling Rate on Microstructure and Transformation Textures of High Strength Hot-rolled Steel Plates Vol 23, Issue 3 ,pp 261-269, [https://link.springer.com/article/10.1016/S1006-706X\(16\)30043-7](https://link.springer.com/article/10.1016/S1006-706X(16)30043-7)
- [12] Morito S., Huang X., Furuhashi T, Maki T.& Hansen N.: (2006) The morphology and crystallography of lath martensite in alloy steels, *Acta Mater.* 54 pp 5323 5331 DOI:10.1016/j.actamat.2006.07.009.
- [13] Jiang, ZQ; Du, JM; Feng XL, (2006) Study and Application of Heat Treatment of Multi-Element Wear-Resistant Low-Alloy Steel, *Journal of Iron and Steel Research*, , 13(1), 57-61. DOI10.1016/S1006-706X(06)60027-7
- [14] Natori M., Futamura Y, Tsuchiyama T., Takaki S. (2005) Difference in recrystallization behavior between lath martensite and deformed ferrite in ultralow carbon steel *Scripta Materialia* 53(5):603--608 DOI: 10.1016/j.scriptamat.2005.04.025
- [15] Samuels L. E. (1999): *ASM Handbook Light Microscopy of Carbon Steels*, ASM International



Bórral mikroötvözött acélok hőkezelést követő anyagvizsgálata

Material testing of boron microalloyed steels after heat treatment

^{1,2}Takács Sándor, ^{2,3}Dr. Fábián Enikő Réka

¹Bay Zoltán Közhasznú Nonprofit Kft. Budapest, Magyarország,

²Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest,

¹sandor.takacs@bayzoltan.hu ³fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A kísérletek során kis karbontartalmú, ötvöztelen és bórral mikroötvözött acélokban hoztunk létre léces martenzitet laboratóriumi körülmények közt. A minták fénymikroszkópos vizsgálatai és keménységmérési eredményei azt mutatták, hogy 1100°C-on való hőntartás után jeges vízben való hűtéssel a bórral mikroötvözött minták léces martenzites szövetszerkezetűek lettek, az ötvöztelen acélban ferrit is megjelent a primer ausztenit szemcséhatárokon.

Kulcs szavak: kis C-tartalmú acélok, B-mikroötvözés, gyors hűtés, léces martenzit

Abstract

During to the experiments, were produced lath martensite in low carbon unalloyed and boron microalloyed steels in laboratory conditions. Light microscopic examination and hardness measurement results of the samples showed that after austenitization at 1100°C and cooling in ice water, the boron microalloyed samples became lath martensitic, but at unalloyed low carbon steel ferrite also appeared in the primary austenite grain boundaries.

Keywords: low carbon steel, boron microalloying, heat treatment, quenching, lath martensite,

1. Bevezetés

Napjainkban az iparban, de főként az autóiparban kiemelt fontosságú a teherviselő elemek súlycsökkentése, aminek következtében hozzájárunk az igencsak fontos CO₂ kibocsátás csökkenéséhez is [1]. Ennek egyik lehetséges módja a minél nagyobb mechanikai szilárdság elérése a teherviselő elemek terén, ami acélok alapanyagok esetében - többek között - a minél nagyobb szilárdságú szövetek jelenlétével lehetséges [2]. Acélok gyártása, tervezésekor a különböző termikus viszonyok hatására a létrejövő szövetek, illetve mechanikai tulajdonságaik rendkívül sokszínű módon létrehozhatók [2]. Ha az acélok nem egyensúlyi átalakulására gondolunk, akkor azok allotróp átalakulása, illetve intenzív hűtése során kialakuló tetragonális rácsszerkezetű martenzites szövete kiváló mechanikai tulajdonságokkal bír. Press-hardening (PH) acélok esetében, annak érdekében, hogy nagyobb határfokkal ériék el a kíván nagy szilárdságú fázist, az acélokat bórral és mangánnal ötvözik [3]. Bizonyos szempontból, az acélokban az edzési határfok felső határának tekinthetők a hűlés során kialakuló anyagfolytonossági hiányok, vagy megjelenő

repedések, ami természetes nem kívánatos és nem megengedhető. A köbös rácyszerkezetű léces martenzit, amely eddig tapasztalataink és irodalmi adatok alapján még képes elviselni a hőkezelés (vagy a nagy hűlési sebességgel kísért hegesztés) okozta feszültségeket [4]. A repedéskeletkezés szempontjából számunkra kedvezőbb tulajdonság egyik oka, a már említett köbös rácyszerkezet [5]. A léces martenzitre jellemző, hogy a szemcséken belül azok nagyszögű szemcsehatárokkal határolt blokkokból állnak, a blokkokat pedig gyakorlatilag azonos orientációjú lécek alkotják [6- 9]. Bórral mikroötvözött acélokban irodalmi adatok azt mutatják, hogyha a lehűlési sebesség nem elég nagy a bóros kiválások következtében szemcsehatármenti repedések jönnek létre [10]. A kísérlet során a léces martenzitet kemencébenvaló ausztenítésítés és gyors hűtéssel hoztuk létre ötvözetlen és bórral mikroötvözött kis széntartalmú acélokban. A téma jelenleg nem eléggé feltárt, aminek oka lehet, hogy a martenzites átalakulás 24 különböző kristálytani orientáció szerint is végbemehet, melyből 6 vezet léces szerkezethez [5]. Irodalmi adatok alapján a léces martenzit kis karbontartalmú acélokban ($C < 0,3$) jelenik meg, viszonylag magas ausztenítésítési hőmérsékelt (1100°C) és intenzív hőelvonás (jeges víz) mellett [11-12] így a kísérletek során ezen paraméterek szerint dolgozunk.

2. Kísérleti anyagok és eszközök

2.1 Előkísérletek

Egy korábbi lézersugaras kísérletsorozat során azt tapasztaltuk, hogy kifejezetten gyors hegesztés előtolási sebesség (teljesítmény: 4800 W, előtolás: 2000 mm/perc) és viszonylag intenzív hőelvonás mellett bórral mikroötvözött acélnál a varratfém nagy keménységű és martenzites, viszont sehol sem keletkezett repedés a varratokban, annak ellenére, hogy a keménységmérés eredményeire alapozva a repedéskeletkezés feltételei adottak volnának. Az 1. ábra bal oldalán a 34MnB5 jelölésű szabványos anyagminőségű acélon végrehajtott lézersugaras hegesztés metszeti képe, az ábra jobb oldalán a minta keménységtérképe látható, ahol a mintavételi távolság 0,5 mm volt.. Az 1. táblázat az acél összetételét jelöli.



a)

		A 34MnB5-4 jelölésű minta keménységtérképe									
		Mintavételi távolság (mm)									
Varratmélység (mm)		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
	0,0	256	277	300	790	683	737	653	278	248	259
	0,5	234	242	257	658	669	693	815	250	243	220
	1,0	256	274	255	678	653	678	592	243	267	225
	1,5	266	213	248	457	653	535	576	245	215	235
	2,0	277	288	256	362	674	663	419	227	232	232
	2,5	221	241	260	248	822	785	239	216	195	223
	3,0	200	226	243	214	596	859	227	225	229	226
	3,5	245	232	278	260	861	256	269	254	242	245
	4,0	248	229	232	233	260	250	245	236	234	218
4,5	219	225	229	221	240	234	228	225	227	221	

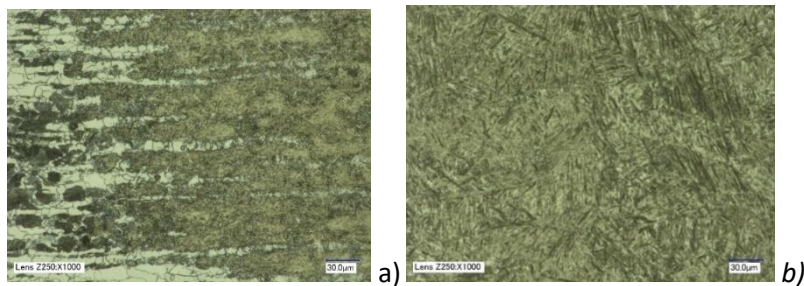
b)

1. ábra Lézerhegesztett 34MnB5-4 jelölésű minta a)fénymikroszkópos felvétele $Neredeti=30 \times$
b) lézerhegesztés keménységtérképe, mintavételi távolság 0,5 mm

1. táblázat A 34MnB5 szabványos jelölésű acélminőség összetétele

C	Mn	Si	Cr	S	P	B	Mo
0,347	1,2239	0,29	0,293	0,006	0,0121	0,0039	0,0041

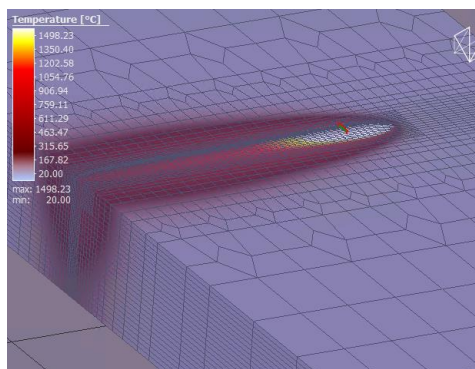
A csiszolat fénymikroszkópos vizsgálata során azt észleltük, hogy a keskeny hőhatásövezetet ferrit, martenzit és kevés bénit alkotja, a varratfém léces martenzites morfológiát mutat (2. ábra).



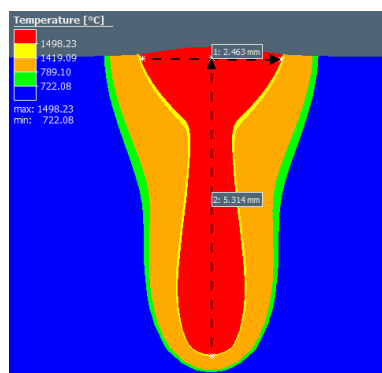
2. ábra A 34MnB5-4 jelölésű minta varratának környezete a) hőhatásövezet, b) varratfém
Neredeti= 1000 x, Maróyszer: 2%-os nitál

A kísérletek során a varrat környezetében lejátszódó folyamatok tanulmányozása érdekében szimulációs vizsgálatok is történtek. A szimulációkat Simufact.welding végesselemes szoftver segítségével hajtottuk végre. A vizsgálatok során az éles kísérletekkor alkalmazott paraméterek szerint dolgoztunk. A szimulációval a célunk az volt, hogy a hegesztés hőmérséklet viszonyait szimuláljuk. A 3. ábra a szimulációs vizsgálatok során alkalmazott alapmodellt mutatja. Az ábrán a 34MnB5-4 jelölésű hegesztés hőmérsékletviszonyai látható abban a pillanatban, amikor a hegesztőfej megközelítőleg a darab felénél jár. A 4. ábra a hegesztés vonalára merőleges síkban elhelyezett varrat képe látható. A felvétel a metszet síkjában, a hegesztés pillanatában fennálló hőmérsékletviszonyokat szemlélteti.

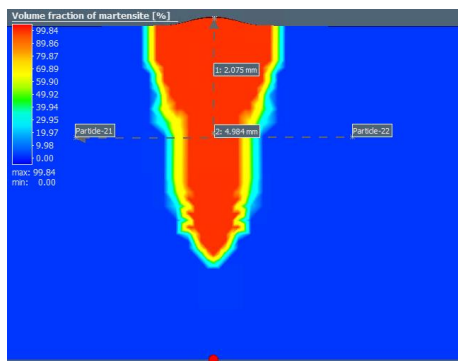
A szimuláció segítségével a varratban keletkező szövetek térfogatarányait is meghatároztuk. Az 5. ábrán a hegesztés során, illetve után kialakuló jellemző szövetszerkezetek láthatók. Az ábrából az derül ki, hogy a varrat gyakorlatilag martenzitből áll, ami összhangban van a keménységtérképen mért adatokkal illetve a fénymikroszkópos vizsgálatokkal. A 6. ábrán a maradékausztenit térfogataránya látható. A szoftver segítségével megjósolhatók a keletkező szövetek keménységértékei is.



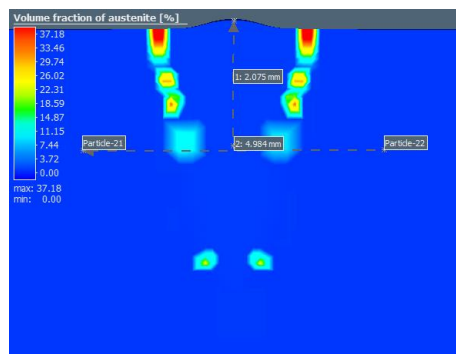
3. ábra. A szimulációs vizsgálatok során használt alapmodell



4 ábra. A hegesztésre merőleges síkban, a hegesztés pillanatában fennálló hőmérsékletviszonyok



5. ábra. A 34MnB5-4 jelölésű minta hegesztése során, illetve után kialakuló, jellemző szövetszerkezet



6. ábra. A 34MnB5-4 jelölésű minta szimulációs képe az ausztenittartalom függvényében

A fent ismertetett vizsgálati és szimulációs eredmények alapján hőkezelést hajtottunk végre Phs-ultraform 1500, 34MnB5 és S235 szabványos jelölésű acélok azzal a céllal, hogy azokban léces martenzitet hozunk létre, mivel az ilyen acélokat az autóipar egyre elterjedtebben használja.

2.2 A minták hőkezelése

A kísérleteket 2 milliméteres lemezvastagságú, 50x50 milliméteres méretű darabokon hajtottuk végre. A darabok anyagminőségét, illetve pontos összetételét a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat A vizsgált acélok jellemző összetétele

Acéljelölés	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	B
S235	0,170	-	1,40	0,031	0,027	-	-	-
Phs-ultraform 1500	0,220	0,45	1,79	0,007	0,003	0,050	0,39	0,003
34MnB5	0,347	0,29	1,22	0,012	0,006	0,038	0,29	0,004

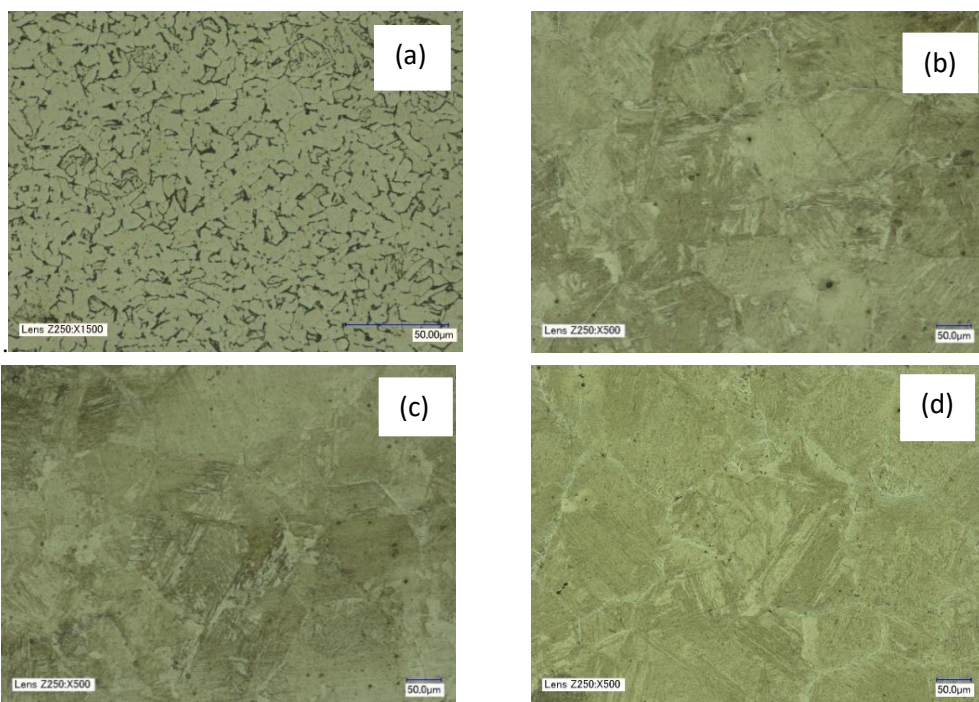
A kísérletek során első lépésként a lemezeket előkészítettük. Ez a lemezek mechanikus tisztítását jelentette. A Phs-ultraform 1500 esetén a felületén található Al-Si réteget is eltávolítottuk. Ezt kövözően laborkemencében a mintákat 1100 °C-os hőmérsékleten hőntartottuk, majd azokat jeges vízben edzettük le. Az itt ismertetett paramétereket irodalmi adatok alapján határoztunk meg [11]. A 34MnB5 jelölésű acélmiőség kivételével az acélok karbontartalma 0,2% közeli, amiben csak nagy hűtési sebességgel hozható létre martenzit. Az ilyen karbontartalmú acélokban létrejövő martenzit léces morfológiájú általában [8-11].

2.3. Vizsgálati eszközök

A hőkezelt mintákat darabolás után a metallográfia hagyományos módszereivel készítettük elő, majd Keyence VHX-2000E típusú fénymikroszkóppal vizsgáltuk azokat. A fénymikroszkópos vizsgálat után a mintákat ultrahangos keménységmérésnek vetettük alá. A keménységmérést egy saját fejlesztésű, x-y asztalra szerelt, keménységtérkép létrehozására alkalmas Krautkramer Branson Microdur II. típusú berendezéssel hajtottuk végre. A terhelőerő minden esetben 1000 g volt.

3. Kiértékelés, eredmények

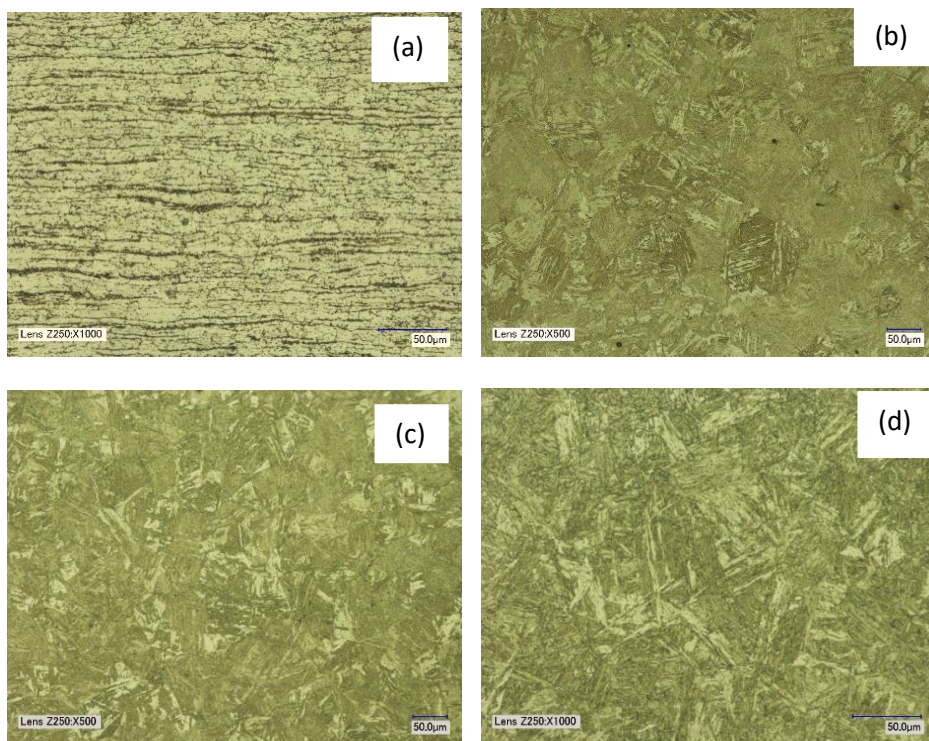
A Phs-ultraform 1500 minták esetén a felvételeken az látszódott, hogy a kialakult nem egyensúlyi szövetszerkezet jellemzően martenzites, mely parkettaszerű, léces morfológiát mutat. Az S235 jelölésű minták metallográfiai vizsgálati eredményei a 7. ábrán láthatók. A bal felső ábra (a) a lemez szállítási állapotában készült fénymikroszkópos felvételét mutatja, ahol a szövetszerkezet jellemzően normalizált állapotnak megfelelően ferrit perlit. A (b),(c), és (d) jelölésű ábrákon a hőkezelést követő fénymikroszkópos felvételek láthatók egyre növekvő nagyítás mellett. A (d) jelölésű mintán, 1000x-es nagyítás mellett az látszik, hogy itt részben jelentek meg nem egyensúlyi fázisok. A jellemző szövetszerkezet a léces jellegű martenzites szerkezet mellett a primer ausztenit szemcsehatárokon megjelenő ferrit mellett minimális mennyiségű bainit is fellelhető.



7. ábra. Az S235 jelölésű minta szövetszerkezete (a) szállítási állapot (b) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 500x$, (c) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 500x$ (d) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 1000x$

8 ábra felvételein a Phs-ultraform 1500 jelölésű minták metallográfiai felvételei láthatók. A bal felső ábra (a) a kezdeti szövetszerkezet fénymikroszkópos képét mutatja, ahol a szövet jellemzően ferrit perlit. Itt az alakítás irányában a ferrit -perlit sorosság látszik, ami a hengerlési állapotra utal vissza, bár szferoiditos perlit, és finom kiválások az e. A (b), (c), és (d) jelölésű ábrákon a hőkezelést követően kialakult szövetszerkezetről készült fénymikroszkópos felvételek láthatók egyre növekvő nagyítás mellett. A (d) jelölésű mintán, 1000x-es nagyítás mellett szépen kirajzolódik a martenzit parkettaszerű léces morfológiája. Ferrites fázis a primer ausztenit szemcsehatárokon sem látszik. A jelenség azzal magyarázható, hogy már a kis mennyiségű bamos ötvözés is jobbra tolja a C görbéken az orr-pontot, így az 1100°C-ról

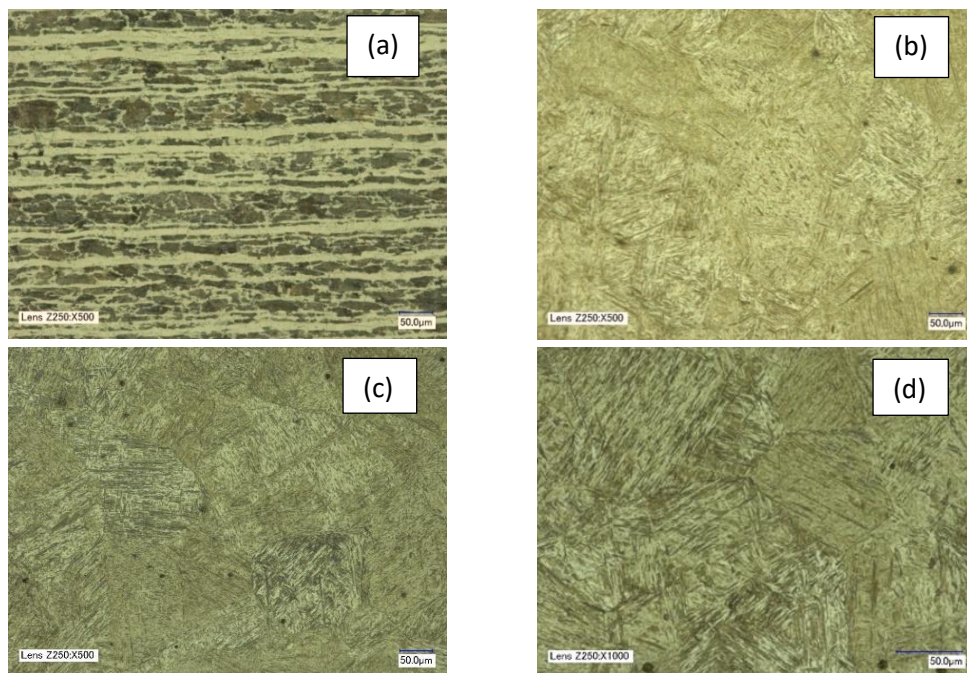
jegesvízben való hűtéskor teljesen sikerült elkerülni a ferrit kialakulását.



8. ábra. A Phs-ultraform 1500 jelölésű minták fénymikroszkópos felvételei (a) szállítási állapot (b) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 500x$, (c) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 500x$ (d) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 1000x$

9. ábra felvételein a 34MnB5 jelölésű minták metallográfiai vizsgálati eredményei láthatók. A bal felső ábra (a) a kezdeti, hőkezelés előtti szövetszerkezet fénymikroszkópos képét mutatja, ahol a szövet jellemzően ferrit perlites, soros elrendeződésben. Ennek a mintának a perlit tartalma jelentősen eltér az előzőekben bemutatott kisebb karbon tartalmú acélokhoz képest, de szemrevételezés alapján meghaladja a C tartalomnak megfelelő 44%-ot. Ez részben a mangántartalomnak, részben a bóros mikroötvözésnek tudható be. A (b), (c), és (d) jelölésű ábrákon a hőkezelést követő fénymikroszkópos felvételek láthatók, egyre növekvő nagyítással. A (d) jelölésű felvételen, 1000x-es nagyítással kirajzolódik a martenzit parkettaszerű léces morfológiája.

A különböző összetételű lágycélminták fénymikroszkópos vizsgálata alapján megállapított tényszerűségeket a keménységmérések alátámasztották. A 3. táblázat a keménységmérések vizsgálati eredményeit mutatja. A bórral mikroötvözött acélok keménysége jelentősen nagyobb, mint azt az ötvöztelen acélnál tapasztaltuk. A bórral mikroötvözött acéloknál a nagyobb széntartalmú acél nagyobb keménységű, és megfelel a lézeres hegesztéskor a kialakult varrat keménységének.



9. ábra. A 34MnB5 jelölésű minták fénymikroszkópos felvételei (a) szállítási állapot (b) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 500x$, (c) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 500x$ (d) gyors hűtött minta részlet $N_{eredeti} = 1000x$

3. táblázat A keménységmérés eredményei

Anyagminőség [-]	Alapanyag keménysége [HV1]	Hőkezelés után [HV1]
S235	110	292
Phs ultraform 1500	185	586
34MnB5	186	693

4. Következtetések

Phs-ultraform 1500, a 34MnB5 és az S235 szabványos jelölésű acéloknál, melyek szállítási állapotban ferrit perlités szövetszerkezetűek voltak, léces martenzitet akartunk létrehozni. A metallográfiai vizsgálatok, illetve keménységmérési eredmények alapján kijelenthető, hogy 1100°C-on ausztenítésítést követően jeges vízben való hűtéssel a Phs-ultraform 1500 és a 34MnB5 jelölésű acéloknál létrejött szövetszerkezet léces martenzites. A S235 jelölésű mintánál a primer ausztenit szemcsehatárokon ferrit is megjelent a kis keménységű (C tartalomnak megfelelő) léces martenzit mellett. A vizsgálatok során egy esetben sem találtunk anyagfolytonossági hányra utaló jeleket, repedéseket.

A kapott vizsgálati eredményekből az a fontos következtetés vonható le, hogy a Phs-ultraform 1500 és a 34MnB5 szabványos jelölésű acél alapanyagok alkalmasak, hogy 1100°C-on való ausztenítésítés utáni jegesvízes hűtés során repedésmentesen hozzunk létre léces martenzitet.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni a Bay Zoltán Kft.-nek és az ATDI-nak a segítségükért, szakmai iránymutatásukért.

5. Hivatkozások

- [1] Trabelsi O., Tóth L.. (2021). Új anyagok alkalmazásának megbízhatósági kérdései a járműiparban. Műszaki Tudományos Közlemények vol. 14. 71–76.
- [2] Mori K., Bariani P.F., Behrens B.-A., Brosius A., Bruschi S., Maeno T., Merklein M., Yanagimoto J.. (2017). Hot stamping of ultra-high strength steel parts. CIRP Annals Volume 66, Issue 2, 2017, Pages 755-777.
- [3] Tisza, M. (2017). Hot Forming of Boron Alloyed Manganese Steels. Materials Science Forum, 885, 25–30. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.885.25>
- [4] Huang J, Li L, Luo Z, Huang M, Peng Z, Gao J, Ke H, Liang Z. (2023). Improving the ductility of ultrahigh strength lath martensite through heterogeneous carbon distribution. Journal of Materials Research and Technology Volume 27, November–December 2023, Pages 8209-8215.
- [5] Babu S.R, Nyssönen T, Matias Jaskari M, Järvenpää A, Davis T. P, Pallaspur S, Kömi J, Porter D. (2019). Observations on the Relationship between Crystal Orientation and the Level of Auto-Tempering in an As-Quenched Martensitic Steel. DOI:10.3390/met9121255
- [6] S Morito, H. Tanaka, R. Konishi, T. Furuhashi and T. Maki: (2003) The morphology and crystallography of lath martensite in Fe-C alloys, Acta Mater. 51, 1789-1799.
- [7] Kelly P.M.: (1992) Crystallography of lath martensite in steels. Materials Transactions, JIM Japan, 33(3): 235-242. ,
- [8] Sandvik B. P. J., Wayman C.M.: (1983) Crystallography and substructure of lath martensite formed in carbon steels. Metallography, 16(2) , 199-227.
- [9] Morito S, Adachi Y., Ohba T.: (2009) Morphology and Crystallography of Sub-Blocks, Materials Transactions, Vol. 50, No. 8, 1919- 1923
- [10] Bai J, Jin S, Liang Ch, Li X, You Z, Zhao Y, Liu L, Sha G, (2022) Microstructural origins for quench cracking of a boron steel: Boron distribution, Materials Characterization, Vol. 190, 112022, ISSN 1044-5803, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.112022>.
- [11] Fábíán E.R, Kótai Á. (2018). A léces martenzit viselkedése hőkezelés hatására. Acta Materialia Transylvanica 1/1. 26–30.
- [12] Stormvinter A., Borgenstam, A., & Hedström, P. (2011). Investigation of Lath and Plate Martensite in a Carbon Steel. Solid State Phenomena, 172–174, 61–66. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.172-174.61>



Nagy-entrópiájú ötvözetek alkalmazhatóságának lehetőségei

Potential applicability of high-entropy alloys

^{1,2,3}Hareancz Ferenc, ^{1,2,3}Juhász Gergely, ^{1,4}Fábián Enikő Réka, ³Vida Ádám

¹Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország

²Munkahely megnevezése. Kecskemét, Magyarország, hareancz.ferenc@nje.hu, juhasz.gergely@nje.hu

³Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Budapest, Magyarország, ferenc.hareancz@bayzoltan.hu, gergely.juhasz@bayzoltan.hu, adam.vida@bayzoltan.hu

⁴Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Nagy-entrópiájú ötvözetekről a 21. század elejétől beszélhetünk. A hagyományos ötvözetektől eltérő módon ezek az ötvözetek öt vagy több elemet tartalmaznak, egyenlő arányban. A hagyományos ötvözetekhez képest tulajdonságaik kiemelkedőek. Ezekben az ötvözetekben a diffúzió lassú a magas entrópia révén, ami előnyös a korrózióállóság és magas hőmérsékletű alkalmazások szempontjából. Kiemelkedő mechanikai tulajdonságaik és korróziós ellenállásuk miatt helyettesíthetik a hagyományos ötvözeteket. Azonban a HEA-k gazdaságos előállítására és feldolgozása kihívást jelent, ami korlátozza széleskörű alkalmazásukat. A cikk a HEA-k ipari alkalmazási lehetőségeit vizsgálja.

Kulcs szavak: nagy-entrópiájú ötvözetek, alkalmazhatósági területek, mechanikai tulajdonságok

Abstract

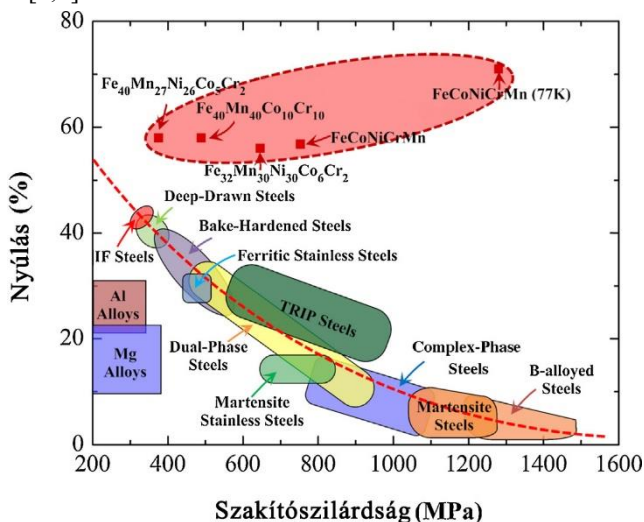
High-entropy alloys have been discussed since the beginning of the 21st century. These alloys differ from conventional ones as they contain five or more elements in equal proportions, resulting in superior properties. Their exceptional mechanical properties and corrosion resistance make them viable alternatives to conventional alloys. Due to high entropy, diffusion in them is slow, which is beneficial for corrosion resistance and high-temperature applications. The economic production and processing of HEAs pose challenges that restrict their extensive application. This study examines the possibilities of HEAs in industrial settings.

Keywords: high-entropy alloys, fields of application, mechanical properties

1. Bevezetés

A nagy-entrópiájú ötvözetek (High-Entropy Alloy, HEA) az anyagtudomány területén az utóbbi évtizedben jelentek meg. Ezek az ötvözetek legalább öt különböző elemet tartalmaznak, körülbelül azonos arányban, szemben a hagyományos ötvözetekkel, ahol egy vagy két fő elem dominál. A nagy-entrópiájú ötvözetek a 2000-es évek elején jelentek meg és különleges tulajdonságaik miatt felkeltették az érdeklődést a kutatók körében. Ennek köszönhetően fejlődésük igen dinamikus és a

jövő új anyagaiként tekintenek rájuk. Jelenleg a kutatások az ötvözetek megalkotására, gyártási technológiájukra és felhasználási területeikre terjednek ki. Különleges szilárdsági tulajdonságaikat az 1. ábra szemlélteti [1,2].



1. ábra Nagy-entrópiájú ötvözetek elhelyezkedése szakítószilárdság-nyúlás görbén [2]

Az 1. ábrán a nagy-entrópiájú ötvözetek piros kitöltő színnel és szaggatott körvonallal vannak jelölve.

2. Nagy-entrópiájú ötvözetek alapjai

A nagy-entrópiájú ötvözetek legalább 5 fő elemet tartalmaznak, minden egyes elem aránya 5-35% között mozog. Az alkotóelemek meghatározzák a létrejövő ötvözetek alapvető tulajdonságait, azonban számos egyéb tényező is befolyásolja azokat. Négy alapvető hatást különítettek el, amelyek kihatással vannak tulajdonságaikra: nagy-entrópia, ráctorzulás, lassú diffúzió és kóktélhatás. Ezek áttekintése fontos, hogy megértsük a hagyományos ötvözetekhez képesti különleges tulajdonságok okát[1,3].

2.1 Nagy-entrópia

A kristályosodási folyamat során kulcsfontosságú kérdés, hogy mi indítja el az egyes fázisátalakulásokat. Ennek megválaszolására a termodinamika nyújt segítséget. Az alapvető termodinamikai ismeretek szerint minden változás, csak akkor történik meg, ha az eredményül kapott új állapot stabilabb, vagyis alacsonyabb energiaszintű lesz. Amikor a fázisátalakulásokat elemezzük, a termodinamika második főtételének olyan formáját érdemes használni, ami a rendszerek szabad entalpiáját mutatja be a konstans nyomáson mért hőenergia, vagyis az entalpia és az entrópia kapcsolatát figyelembe véve (1), ami

$$G = H - TS \quad (1)$$

összefüggéssel írható le, ahol G a Gibbs-féle szabad entalpia, H az entalpia, T az abszolút hőmérséklet, S entrópia. Ami a rendszerben végbemenő változásokat illeti, nem a szabad entalpia abszolút értéke a döntő, hanem annak változási iránya. Ennek megfelelően alakítsuk ki az összefüggés teljes differenciálját, így állandó hőmérsékleten zajló folyamatok elemzésekor ezt a (2) képletet kapjuk:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2)$$

Ahol a rendszer entalpiaváltozása ΔH , kötött energia része $T\Delta S$, a folyamat hajtóereje ΔG . Egy termodinamikai rendszer akkor tekinthető stabilnak, ha a rendszer szabadentalpiája a legkisebb.

Ebből adódóan a magas entrópia stabilizálja a szilárd oldat fázisát a vegyületfázisokkal szemben, ennek eredményeként pedig általában egy egyszerű kristályos szerkezet, lapközepes köbös kocka (LKK) vagy térközepes köbös kocka (TKK) kristályrács alakul ki. Ezek stabilitása pedig a rendszer magas konfigurációs entrópiájából adódik, amely ellensúlyozza a különböző elemek keveredési entalpiáját. A nagy entrópiájú ötvözetek ezért jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek és kiemelkedő keménységi, szilárdsági és kopásállósági értékeik lesznek a hagyományos ötvözetekkel szemben [1,3,4].

2.2 Nagy ráctorzulás

A nagy-entrópiájú ötvözetekben a különböző atomméretű főelemek jelenléte ráctorzuláshoz vezet. Az atomméreték eltérése olyan rácsot eredményez, amely nem olyan rendezett, mint az egy vagy két főelemet tartalmazó hagyományos ötvözetek esetében. A több összetevőjű mátrixban minden atom különböző típusú atomokkal van körülveve, és a rácsponthoz húzásnak és nyomásnak vannak kitéve. A különböző alkotók méretkülönbségei által okozott súlyos ráctorzulás akadályozza diszlokációk mozgását, így az anyag alakíthatósága nehezebb, nagyobb szilárdsággal rendelkezik. Az atomi méretkülönbségeken felül a különböző kötési energiák és az eltérő kristályszerkezetekre való hajlamok a különböző összetevők között tovább növelik a ráctorzulást. A hagyományos ötvözetekben a mátrixot alkotó atomok többsége azonos típusú atomokkal vannak körülveve, így az általános ráctorzulás sokkal kisebb, mint a nagy-entrópiájú ötvözetekben [1,3,5].

2.3 Lassú diffúzió

A nagy-entrópiájú ötvözetekben is a fázisátalakulások a különböző típusú atom együttes diffúzióját igénylik a fázisok közötti összetétel megosztásának eléréséhez. Azonban a diffúzióhoz szükséges vakancia koncentráció korlátozott a nagy-entrópiájú ötvözetekben, mivel minden vakancia kialakulása az ötvözetekben szintén pozitív képződési entalpiával és többlet keverési entrópiával társul. Az entrópia és az entalpia közötti arány egy bizonyos egyensúlyi vakancia koncentrációt eredményez adott hőmérsékleten. A nagy mértékű torzulások és nagy entrópia miatt az atomok diffúziója akadályozott, azokhoz nagyobb energia szükséges, ezért a folyamat lassabb. Ennek eredményeként a fázisátalakulások is lassabban történik meg, így nagyobb hőmérsékleteken is stabil fázisokat kapunk a HEA-kban [1,3,5].

2.4 Kocktél hatás

A nagy-entrópiájú ötvözetek nem csak egy fázisúak lehetnek, az elemek és az ötvözet megalkotásának függvényében lehetnek kettő, három vagy több fázisúak. Az ötvözet tulajdonságait meghatározzák az azt alkotó fázisok és szövetek a szemcsemorfológiája, szemcseméreteloszlása, szemcse- és fázishatárai, valamint a különböző fázisok tulajdonságai. Mindazonáltal, minden fázis egy több összetevőt tartalmazó szilárd oldat, így a kutatók szerint atomi méretű kompozitnak tekinthető. Ezen kompozit tulajdonságai nemcsak az alkotó elemek alaptulajdonságaiból származnak a Hume-Rothery szabály szerint, hanem az elemek közötti kölcsönös kölcsönhatásokból és a nagy mértékű ráctorzulásból is. Ezért fontos, hogy egy ötvözet tervezője megértse az érintett tényezőket, mielőtt kiválasztja a megfelelő összetételt és folyamatokat a kocktélhatás alapján [1,3,5].

3. Alkalmazási területek és potenciál

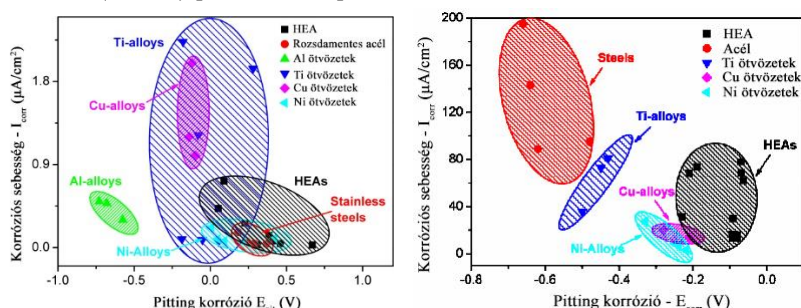
A nagy-entrópiájú ötvözetek az ipar számos területén fel tudják venni a versenyt a hagyományos ötvözetekkel szemben. Jelenleg elterjedésük a magas költségük miatt és az ötvözetek övező sok kérdés miatt még nem történt meg. A cikk kiemel néhány tulajdonságot melyek a vizsgált területen alkalmazhatóvá teszik ezeket az ötvözeteket [6,7].

3.1 Korrózióval szembeni ellenállás

A korrózióálló anyagok fejlesztésével kapcsolatos korábbi és jelenlegi kutatások is főként az acél-, nikkel-, titán alapú ötvözetekre összpontosítanak. Az említett ötvözetek tervezési elve a hagyományos utat követi, ami azt jelenti, hogy az alapelemhez viszonylag alacsony koncentrációban ötvözőelemeket adnak hozzá, ami által javul a korrózióállóságuk. Az alapvető mechanizmus az, hogy az ötvözőelemek, mint a Cr, Ni és Mo hozzáadásával védő passzív réteg alakul ki a szemcsék felületén, amely megakadályozza az alatta lévő ötvözetek korrózióját. Azonban az ötvözési folyamat során a karbidok, nitridek vagy intermetallikus vegyületek, mint például az $M_{23}C_6$ vagy sigma (σ) fázisok jönnek létre és befolyásolja a korróziós viselkedést [8,9,10,11,12].

A klasszikus ötvözet tervezési filozófiától eltérve nagy-entrópiájú ötvözetekben a magas keveredési entrópia hatása által szilárd oldat jön létre, nem pedig bonyolult intermetallikus vegyület(ek). A korrózióknak kitett alkatrészek esetében a legtöbbször az alkarész anyaga egynemű, azaz a teljes alkatrész egy ötvözetből készül. A nagy-entrópiájú ötvözetek esetében a drága alkotóelemek miatt ez magas költségekkel jár, ezt a költséget úgy lehet csökkenteni, hogy nem a teljes alkatrész készül az ötvözetből, hanem csak egy bevonatréteget hozunk létre a felületen. A bevonatréteg az alapötvözetten egy vékony korrózióálló réteg, amely a lassú diffúzióknak és a kótel hatásnak köszönhetően az elektrokémiai reakciók csökkentésével javítja a korróziós ellenállást [8,9,10,11,12].

A HEA-k és a hagyományos ötvözetek sós (3,5 tömeg% NaCl) vízben és savban (H_2SO_4) történő korróziós viselkedése a 2. ábrán látható. A diagram vízszintes tengelyén a pitting korrózióval szembeni ellenállás, a függőleges tengelyen pedig a korróziós sebesség látható. A diagramon a HEA-k a jobb alsó sarokban láthatóak. A HEA-k pitting korrózióval szembeni ellenállása Al-, Cu- és Ti ötvözeteknél magasabb és közel azonos a rozsdamentes acélok és a Ni ötvözetek esetében klorid tartalmú oldatban. A korróziós sebességük pedig az egyik legalacsonyabb a vizsgált ötvözeteket tekintve (2. ábra) [8,9,10,11,12].



2. ábra Hagyományos és nagy-entrópiájú ötvözetek korrózióállósága sós (bal) és savas (jobb) közegben [10]

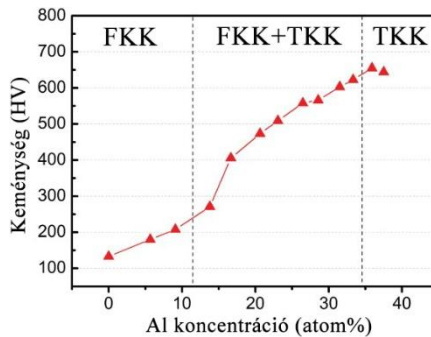
A bevonatrétegek létrehozására több technológia is ismert a HEA-k esetében, ilyenek például a különböző elven működő porlasztásos technológiák vagy a lézeres bevonatolás. A vizsgálatok alapján a különböző bevonatolási technológiák esetében a gyors hűtésnek köszönhetően az alkotó

elemek szegregációja alacsonyabb, illetve finomabb szövetszerkezet alakul ki [8,9,10,11,12].

3.2 Kopásállóság

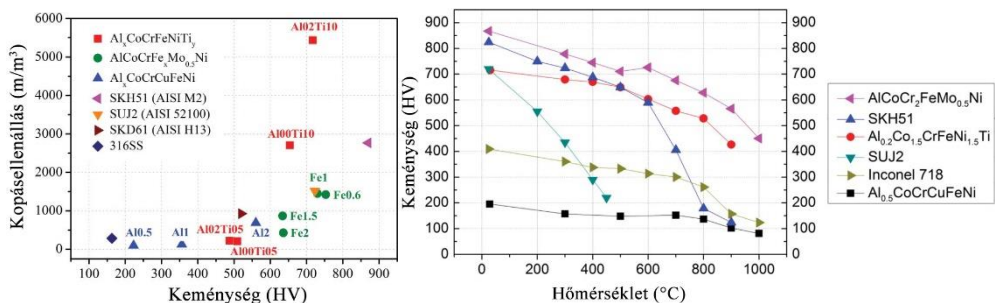
A kopásállóság javítása is hasonlóan a korrózióállósághoz egy vékony réteg létrehozását igényli a felületen. Bevonat réteget szintén különböző technológiával elkészíthető, mint például termikus szórás, ívvel történő felrakás, lézeres felrakás vagy fémposzórásos technológia. Mivel ezeknek a bevonatoknak a vastagsága nem túl nagy ezért felületen hamar kristályosodnak, sok kristálycsíra alakul ki a hőelvonásnak köszönhetően, így finom szerkezettel rendelkeznek. A lassú diffúzióknak köszönhetően pedig a fázisok stabilak maradnak [1,3,4,11,12].

Lee és munkatársai vizsgálták az Al tartalom hatását az $Al_xCrFe_{1.5}MnNi_{0.5}$ ötvözet korróziós viselkedésére. Kimutatták, hogy az alumínium hozzáadása befolyásolja a kialakuló rácsszerkezetet, a rács az FKK + α -FeCr ($CrFe_{1.5}MnNi_{0.5}$) szerkezettől kezdődően az FKK + TKK ($Al_{0.3}CrFe_{1.5}MnNi_{0.5}$) szerkezeten át, végül a BCC ($Al_{0.5}CrFe_{1.5}MnNi_{0.5}$) rácsszerkezetekig változik az Al tartalom növekedésével, ez látható a 3. ábrán [12].



3. ábra Nagy-entrópiájú ötvözet rácsszerkezetének változása az Al tartalom függvényében [13]

A kopásálló ötvözetekkel kapcsolatosan több tanulmány is megjelent. A legtöbb tanulmány esetében a hagyományos SKD61 (X40CrMoV5-1) szerszámacélt és SUJ2 (100Cr6) csapágy acél kopási tulajdonságait hasonlították a HEA-k képest. Az összehasonlítást tartalmazó táblázat a 4. ábra bal diagramján látható. A kopásállóság és a keménység közötti vitathatatlan kapcsolatból adódóan vizsgálták ezen ötvözetek növelt hőmérsékleten milyen módon őrzik meg ezen tulajdonságukat, ami a 4. ábra jobb diagramján látható [11,13,14,15].

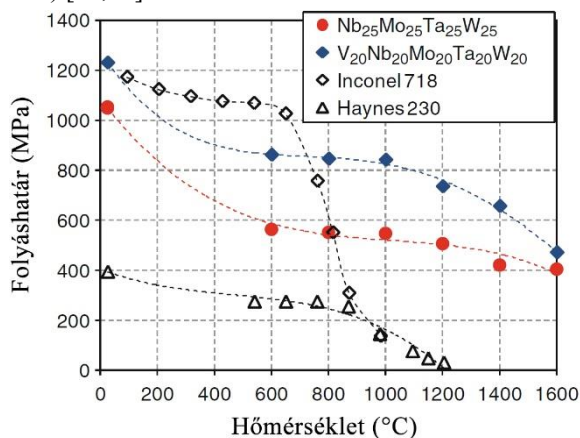


4. ábra Nagy-entrópiájú és hagyományos ötvözetek kopási ellenállás-keménység (bal) és keménység-hőmérséklet (jobb) diagramjai [13]

A kopási ellenállás fontos lehet még biomedikai alkalmazások tekintetében is, ahol a jó korróziós ellenállást is kihasználva protézisek, csontpótlások készíthetők. Ezen alkalmazások esetében is leginkább a bevonatoltasos technológiák teszik gazdaságosabbá a gyártást, mivel a tömör darabok nagyon drágák lennének [16,17].

3.3 Nagy hőmérsékletű felhasználás

A növelt hőmérsékletű felhasználáshoz az ún. refractory nagy-entrópiájú ötvözeteket (refractory high-entropy alloys – RHEA) alkalmazzák, melyek alkotói magas hőállósággal rendelkező ún. refraktori elemek. Ilyen elemek a W, Ti, Mo, Nb, V, Hf. Így az ötvözet mechanikai tulajdonságai a hőmérséklet növekedésével kisebb mértékben csökkennek, mint a hagyományos ötvözetek esetében. Erre példa Kínai Légierő Kutatási Laboratóriuma által vizsgált refraktori ötvözetek olvadáspontja sokkal magasabb, mint a Ni-alapú és Co-alapú szuperötvözeteké. Ez vizsgálataik alapján azért van, mert refraktori elemeket választottak az ötvözet alkotóinak. A keverési szabály szerint a MoNbTaW négy-, illetve a MoNbTaVW ötkomponensű ötvözetnek az olvadáspontja 2600 °C fölött van. Ennek eredményeként mindkét ötvözet sokkal kevésbé veszíti el szilárdságát magas hőmérsékleten, ellentétben az említett szuperötvözetekkel szemben, és 1600 °C-on több, mint 400 MPa folyáshatár rendelkeznek még (5. ábra) [18,19].



5. ábra Különböző ötvözetek folyáshatár változása hőmérséklet függvényében [20]

A nagy hőmérsékleten jó szilárdsági és kúszási tulajdonságok miatt a repülőgép és űr ipar nyitott a HEA-k alkalmazására, például a különböző hajtóműalkatrészek esetében. A leggyakoribb ötvözetek a MoNbTaW, HfNbTaZr, CrMoNbTa és CrNbVZr ötvözetek, amikhez egyéb elemeket (Al, Si) lehet keverni a tulajdonságok javítása érdekében és 2600°C feletti olvadáspont is elérhető [18,19,20].

4. Összegzés

A nagy-entrópiájú ötvözetek az anyagtudomány egy viszonylag új területét képviselik, melyek az elmúlt években jelentős figyelmet kaptak kutatási és ipari szempontból egyaránt. A változatos összetétele lehetővé teszi a kutatók számára, hogy széles körben kísérletezzenek különböző elemkombinációkkal, hogy megtalálják a legmegfelelőbb ötvözeteket specifikus alkalmazásokhoz. A nagy-entrópiájú ötvözetek kiemelkedő mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek és képesek megtartani mechanikai tulajdonságaikat magas hőmérsékleteken is. Ezek a tulajdonságok teszik őket ideálissá extrém körülmények közötti alkalmazásokra, mint például repülőgépipar. A nagy-

entrópiájú ötvözetek rendkívül ellenállóak a korrózióval szemben, ami hasznos lehet olyan környezetekben, ahol a korrózió ellenálló képesség kritikus, mint például biomedikai alkalmazásokban vagy vegyiparban. Összességében a nagy-entrópiás ötvözetek rendkívüli anyagok, amelyek a jövőben számos iparágban jelentős hatással bírhatnak.

5. Hivatkozások

- [1] Murty, B., Yeh, J., & Ranganathan, S. (2014). *High-Entropy alloys*. Butterworth-Heinemann.
- [2] Ye, Y., Wang, Q., J. L., Liu, C., & Yang, Y. (2016). High-entropy alloy: challenges and prospects. *Materials Today*, 19(6), 349–362. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.11.026>
- [3] Gao, M. C., Yeh, J., Liaw, P. K., & Zhang, Y. (2016). *High-Entropy alloys: Fundamentals and Applications*. Springer. *eBooks*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27013-5>
- [4] Tisza M.: Az anyagtudomány alapjai, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2013. Miskolc, ISBN 978-963-661-844-5, pp. 1-285.
- [5] Miracle, D., & Senkov, O. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Materialia*, 122, 448–511. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>
- [6] Brif, Y., Thomas, M., & Todd, I. (2015). The use of high-entropy alloys in additive manufacturing. *Scripta Materialia*, 99, 93–96. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2014.11.037>
- [7] Katiyar, N. K., Biswas, K., Yeh, J., Sharma, S., & Tiwary, C. S. (2021). A perspective on the catalysis using the high entropy alloys. *Nano Energy*, 88, 106261. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106261>
- [8] Nascimento, C. B., Donatus, U., Ríos, C. T., De Oliveira, M. C. L., & Antunes, R. A. (2022). A review on Corrosion of High Entropy Alloys: Exploring the Interplay Between Corrosion Properties, Alloy Composition, Passive Film Stability and Materials Selection. *Materials Research-ibero-american Journal of Materials*, 25. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2021-0442>
- [9] Liu, Y., Xiang, D., Wang, K., & Yu, T. (2022). Corrosion of Laser Cladding High-Entropy Alloy Coatings: A Review. *Coatings*, 12(11), 1669. <https://doi.org/10.3390/coatings12111669>
- [10] Shi, Y., Yang, B., & Liaw, P. K. (2017). Corrosion-Resistant High-Entropy Alloys: A review. *Metals*, 7(2), 43. <https://doi.org/10.3390/met7020043>
- [11] Gobinath, V. M., & Arulvel, S. (2021). A review on the steels, alloys/high entropy alloys, composites and coatings used in high temperature wear applications. *Materials Today: Proceedings*, 43, 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.495>
- [12] Lee, C., Chang, C., Chen, Y., Yeh, J., & Shih, H. C. (2008). Effect of the aluminium content of Al_xCrFe_{1.5}MnNi_{0.5} high-entropy alloys on the corrosion behaviour in aqueous environments. *Corrosion Science*, 50(7), 2053–2060. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.04.011>
- [13] Tsai, M., & Yeh, J. (2014). High-Entropy Alloys: A Critical review. *Materials Research Letters*, 2(3), 107–123. <https://doi.org/10.1080/21663831.2014.912690>
- [14] Sonal, S., & Lee, J. (2021). Recent advances in additive manufacturing of high entropy

- alloys and their nuclear and Wear-Resistant applications. *Metals*, 11(12), 1980. <https://doi.org/10.3390/met11121980>
- [15] Gobinath, V. M., & Arulvel, S. (2021). A review on the steels, alloys/high entropy alloys, composites and coatings used in high temperature wear applications. *Materials Today: Proceedings*, 43, 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.495>
- [16] Shittu, J., Pole, M., Cockerill, I., Sadeghilaridjani, M., Reddy, L. J., Manivasagam, G., Singh, H., Grewal, H. S., Arora, H. S., & Mukherjee, S. (2020). Biocompatible High Entropy Alloys with Excellent Degradation Resistance in a Simulated Physiological Environment. *ACS Applied Bio Materials*, 3(12), 8890–8900. <https://doi.org/10.1021/acsabm.0c01181>
- [17] Ahmady, A. R., Ekhlesi, A., Nouri, A., Nazarpak, M. H., Gong, P., & Solouk, A. (2023). High entropy alloy coatings for biomedical applications: A review. *Smart Materials in Manufacturing*, 1, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.smmf.2022.100009>
- [18] Dewangan, S. K., Mangish, A., Kumar, S., Sharma, A., Ahn, B., & Kumar, V. (2022b). A review on High-Temperature Applicability: A milestone for high entropy alloys. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 35, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2022.101211>
- [19] Pineau, A., & Antolovich, S. D. (2009). High temperature fatigue of nickel-base superalloys – A review with special emphasis on deformation modes and oxidation. *Engineering Failure Analysis*, 16(8), 2668–2697. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2009.01.010>
- [20] Senkov, O., Wilks, G. B., Miracle, D., Chuang, C., & Liaw, P. K. (2010). Refractory high-entropy alloys. *Intermetallics*, 18(9), 1758–1765. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2010.05.014>



A többlépcsős kompressziós kísérlet – gyorsabban

Multistage compression test – in a shorter way

¹Imre Emőke

¹Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, and Hydro-Bio-Mechanical Systems Research Center, and AIAM Doctoral School, Budapest, Hungary, e-mail: imre.emoke@uni-obuda.hu

Összefoglalás

A többlépcsős, oedométeres kompressziós vizsgálat időtartama általában egy hét, mivel - a szabványok szerint - a lépések általában 24 órát vesznek igénybe. Megállapítható, hogy a magyarországi plasztikus talajok többségénél az elsődleges konszolidáció 1-2 óra alatt befejeződik. Erősen plasztikus agyagok esetében az 1-2 órás szakaszok eredményei inverz feladatmegoldással meghosszabbíthatók, ha az utolsó szakasz hossza megegyezik az "elsődleges konszolidációs idővel".

Kulcs szavak: telített talaj, kompresszió, ödométer, paraméter identifikáció, regularizáció

Abstract

The duration of the multistage compression test is generally one week since – according to the standards – the stages generally take about 24h. It is found that the primary consolidation is ended for most of the Hungarian plastic soils during 1-2 hours. In case of highly plastic clays the results of the 1-2 hour long stages can be extended by inverse problem solution if the last stage is as long as the “primary consolidation time”.

Keywords: saturated soil, compression, oedometer, parameter identification, regularization

1. Bevezetés

A talajmechanika ödométeres kompressziós kísérletének két előírása, hogy a következő terhelési lépcsőt csak az elsődleges konszolidáció befejeződése után lehet feltenni, és a követő terhelés legfeljebb az előző kétszerese lehet. A szabványok ajánlása szerint általában naponta növelik a terhelési lépcsőket, így a mérés általában egy hétig is eltart. Emiatt az elmúlt évtizedekben számos gyorsabb kísérleti eljárást fejlesztettek ki.

E kutatás azt vizsgálja, hogy a hagyományos többszakaszos kísérlet felgyorsítható-e. Vizsgálja, hogy a hazai telített agyagok esetén milyen hosszú az elsődleges konszolidáció időtartama, hogy lehetséges-e kisebb konszolidációs fokú szakaszok alatt mért elmozdulások alapján a végértéket megbízhatóan becsülni.

1. táblázat: A kísérletben felhasznált talajok

Minta	Hely	Mélység [m]	Talaj típus	I_p [%]	w_L [%]	w [%]	e [-]
1	Algyő	10.5	iszap	12.8	32.4	27.0	0.574
2	Szeged	6.5	sovány agyag	17.3	37.6	25.0	0.750
3	Algyő	6.0	sovány agyag	18.3	36.2	30.0	0.790
4	Szeged	5.0	sovány agyag	18.5	38.5	30.0	0.790
5	Algyő	12.0	közepes agyag	23.6	42.0	27.0	0.720
6	Szeged	4.5	közepes agyag	24.8	45.5	28.8	0.620
7	Szeged	12.0	kövér agyag	45.0	69.0	49.0	0.740

2. táblázat: Terhelés növekmény / időtartam adatok

Terhelésnövelés / időtartam	1	2	3	4	5	6	7
Dupla, hosszú	+	+	+	+	+	++	+
Dupla /2h				+		++	
Dupla /1h			+				
Dupla /0.5h			+				
100kPa/2h				+	+		+
100kPa/1h	+						
50kPa/1.5h		+					
50kPa/1h							+

2. Talajok és módszerek

7 talajon végeztünk kísérleteket a BME Geotechnikai Laboratóriumában. A zavartalan talajmintákat talajvízszint alól vettük. A talajfizikai jellemzőket az 1. táblázat tartalmazza. Rétháti (1978) [1] felosztása szerint az 1, 3 és az 5 talaj *C* jelű, a többi pedig *B* jelű területéről származik. Az előterhelési feszültség alsó határát korábbi munkák alapján 75-100 kPa közötti értékben becsültük (Imre, 1995) [2]. Az előterhelési feszültség azonos terhelések (20, 50, 75kPa) azonos ideig voltak az összes mintán.

A 100 kPa felett a terheket vagy egyenlő lépcsőkkel növeltük vagy - a "dupla" kísérlet - során a terhelés mindig az előző kétszerese volt (2. táblázat). A szakaszok időtartama állandó (0.5h, 1h vagy 2h) volt. Minden talajból készült egy kísérlet „hosszú” szakaszokkal, ezeknél a szakasz időtartama általában egy nap volt.

3. Modellek, inverz probléma megoldás

Két modellt alkalmaztunk, az általunk módosított Terzaghi (A modell), és az általunk módosított Bjerrum (AC modell) modellt ([3, 4]). A minta tetejének elmozdulása:

$$v(t) = v_0 + v_1(t) + v_2(t) \quad (1)$$

ahol v_0 azonnali összenyomódás (ezt a paramétert mi adtuk a modellekhez), v_1 elsődleges konszolidációs süllyedés, v_2 kúszási süllyedés, ezek összege a kompressziós görbe pont. Az azonnali összenyomódást (v_0) és az elsődleges konszolidációs süllyedést (v_1) mindkét modellnél figyelembe vettük paraméterként, a kúszást (v_2) viszont az A modellnél elhanyagoltuk. Az elsődleges konszolidációs süllyedés a Terzaghi-féle modell alapján:

$$v_1(c_v, t) = v_{1,\infty} \left[1 - \int_0^{\frac{2H}{\sigma}} \frac{u(c_v, t, x) dx}{2H\sigma} \right] \quad (2)$$

ahol,

$$v_{1,\infty} = 2H\sigma / E_s \quad (3)$$

ahol $2H$ a minta magassága, H modellállandó, σ a teljes feszültség növekménye, E_s az összenyomódási modulus, u a pórusvíznyomás, amely a c_v konszolidációs tényező függvénye.

A kúszási egyenlet, amely az AC modellnél került alkalmazásra:

$$v_2(t) = C_\alpha \frac{2H}{1 + e_0} \log \frac{t + t_0}{t_0} \quad (4)$$

ahol C_α a kúszási tényező, t_0 pedig az időparaméter. A paramétereket a [5-7] módszerrel határoztuk meg.

Hierarchikus inverz probléma megoldást alkalmaztunk, a lineáris és nemlineáris függésű paraméterek szétválasztásával (3. táblázat). A konvexnek feltételezett hibafüggvény minimum közrezárása során előállítottuk a c_v nem-lineáris függésű paraméter szerinti legmélyebb hibafüggvény metszetet [5, 6], egy térgörbét az 5-dimenziós térben. Ennek legmélyebb pontja az inverz probléma megoldása hosszú szakaszok esetén. A lineáris részt minden rögzített nemlineáris értékhez SVD eljárással számoltuk, a paraméterek hibáját az ismert lineáris eljárással becsültük [7]. A rövid szakaszoknál e metszet azonban eltorzulhat. Implicit regularizáció révén a megoldást a hosszú szakaszok c_v értéke alapján lehetett becsülni.

3. táblázat: Az identifikált paraméterek

	Függés	paraméter
v_0	Lineáris	azonnali süllyedés
$v_{1,\infty}$	Lineáris	teljes konszolidációs süllyedés
c_v	nem-lineáris	konszolidációs tényező
C_α	Lineáris	kúszási tényező

4. Eredmények

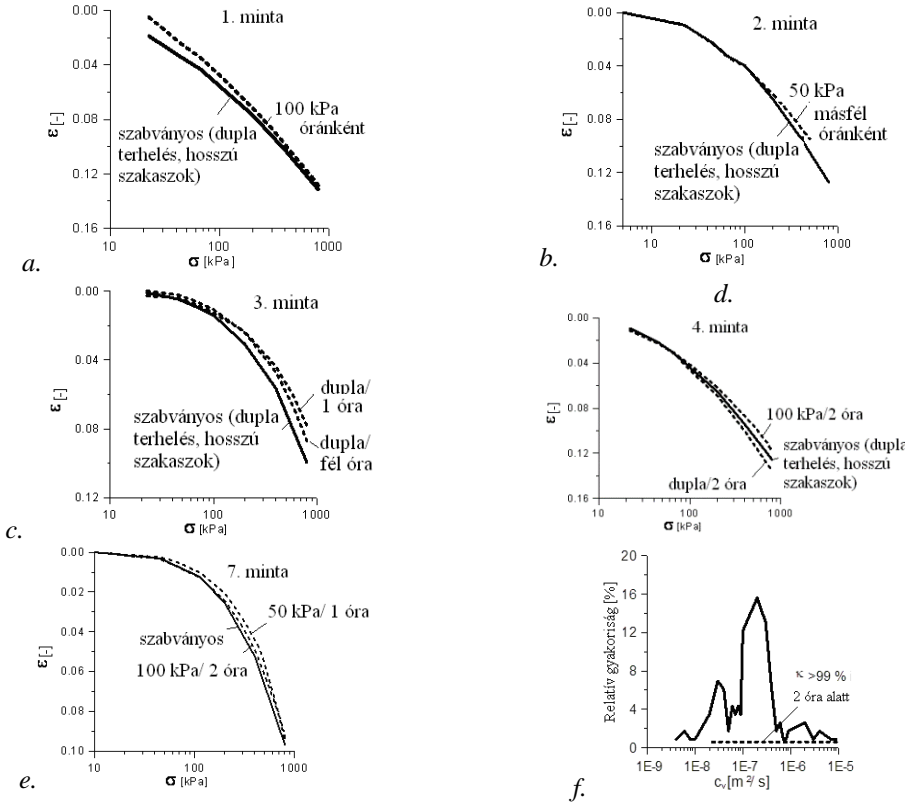
A kompressziós görbék és a hibafüggvény metszetek az 1-2. ábrán, a paraméterek a 4. táblázatban, a hosszú szakaszokra érvényes szórások az 5. táblázatban láthatók. A bonyolultabb AC modell esetén két minimum van, az A modell esetén egy.

Az A modellel végzett paraméter identifikáció során előállítottuk a c_v nem-lineáris függésű paraméter szerinti legmélyebb hibafüggvény metszetet [5, 6], egy térgörbét az 5-dimenziós térben, amelynek kétdimenziós vetületét ábrázoltuk a 2. ábrán. Ennek legmélyebb pontja az inverz probléma megoldása hosszú szakaszok esetén. Az inverz probléma megoldás a rövid szakaszoknál nem lett volna megbízható az alkalmazott regularizáció nélkül, ahogy ez a 2. ábrán is látható. Ehhez az utolsó, hosszú szakaszban meghatározott c_v értéket használtuk. A rövid szakaszoknál ez a metszet ugyan eltorzul, de a metszet egyetlen c_v koordinátájú pontja jó megoldást adott.

A 7. minta 50kPa/1h kísérletének szakaszaihoz meghatározott paraméterek a 4. táblázatban láthatók ([8]). Az identifikált azonnali összenyomódás v_0 általában nem nulla, értéke a teljes süllyedés 0-17%-a, és csak kis terheléseknél jelentős, ami azt jelzi, hogy a talajvíz kompresszibilitása okozza, amely megszűnik a szabad levegő elnyelődésével, oldódásával.

A rövid szakaszok alapján számolt kompressziós görbe a hosszú szakaszok eredménye felett helyezkedett el, ha egyenlő terhelési lépcsőket alkalmaztak, ha duplázott lépcsőket alkalmaztak, akkor a rövid szakaszok alapján számolt kompressziós görbe a 4, 6 mintánál a hosszú szakaszok eredménye alatt, a 3. mintánál felette helyezkedett el. A kísérletek értékelésekor számoltuk a szakasz végén érvényes kappa konszolidációs fokot. Ez a 7. talaj kivételével szinte minden rövid szakasz

végén is 94% feletti volt. A 7. minta 50kPa/1h kísérletének rövid szakaszai esetén előfordult 40-60%-os konszolidációs fok is (4. táblázat).



1. ábra a-e: A rövid kísérletek alapján identifizált kompressziós görbék f: A meghatározott konszolidációs tényezők, két óra elegendő a legtöbb esetben a „hosszú” méréshez.

4. táblázat: 7 minta 50kPa/1h-s kísérlet eredményei

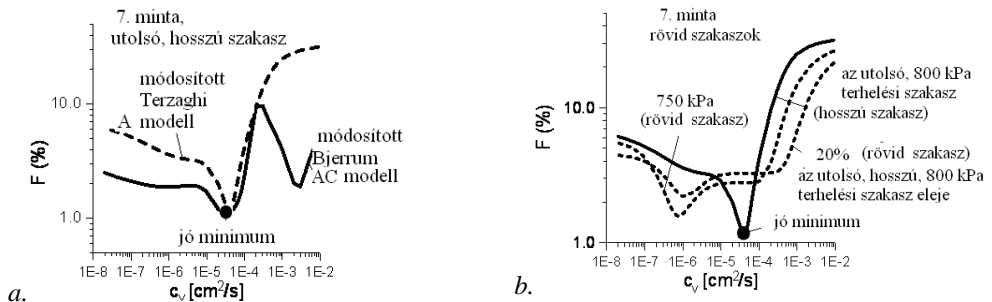
Teher	C^*_v	E_s	k	v_0	Illesztési hibaF	t_{max}	$\kappa(t=60 \text{ min})$
[kPa]	[m ² /s]	[MPa]	[m/s]	[%]	[%]	[min]	[%]
200	.4E-07	.547E+01	.73E-7	7	3.4	60	98
250	.2E-07	.824E+01	.24E-7	13	3.3	60	86
300	.2E-07	.100E+02	.20E-7	11	1.2	60	86
350	.2E-07	.970E+01	.20E-7	10	1.1	60	86
400	.2E-07	.877E+01	.22E-7	10	1.6	60	86
450	.2E-07	.937E+01	.21E-7	6	1.8	60	86
500	.2E-07	.719E+01	.28E-7	16	1.4	60	86
550	.2E-07	.105E+02	.19E-7	-3	3.13	60	86
6 00	.1E-07	.854E+01	.12E-7	3	1.8	60	67
650	.8E-08	.726E+01	.11E-7	1	1.9	60	60
700	.6E-08	.716E+01	.84E-8	4	2.3	60	52
750	.6E-08	.711E+01	.84E-8	-1	2.8	60	52
800	.4E-08	.645E+01	.62E-8	1	1.1	820	42

5. táblázat: Átlagos szórások $D(p^1)/p^1$ [%] hosszú szakaszok esetén

model	A	AC
p^1	$D(p^1)/p^1$ [%]	$D(p^1)/p^1$ [%]
v_0	11.73	7.29
v_1	6.06	3.78
c_v	26.70	15.71
C_α	-	4.15

6. táblázat: Eltelt idők különböző konszolidációs fokok esetén

c_v [m ² /s]	$\kappa=99\%$ $T=2$	$\kappa=90\%$ $T=0.87$	$\kappa=80\%$ $T=0.57$	$\kappa=60\%$ $T=0.28$
1E-9	2.3 nap	24 h	15.8 h	7.8 h
1E-8	5.6 h	2.4 h	1.6 h	0.8 h
1E-7	33 min	15 min	10 min	5 min
1E-6	3.3 min	1.5 min	1 min	0.5 min



2. ábra A 7.talajminta, hibafüggvény metszetek a minimum helyekkel. (a) "A" és "AC" modell, utolsó, hosszú szakasz, (b) "A" modell rövid metszetek (a jó minimum meg sem jelenik).

5. Tárgyalás

Az időhatások a következőképp foglalhatók össze. Az "A" modell nem veszi figyelembe az anyagegyenet időfüggését. Emiatt az azonos mintán végzett különböző időtartamú kísérletekből prognosztizált kompressziós görbék függenek az időtartamtól.

A szakirodalomban többféle időhatásra vannak ismeretek. A kis sebességek tartományában Leonards et al (1964) [9] szerint más a kompressziós görbe alakja, mint a laboratóriumi kísérletek szokásos terhelési sebességénél (szedimentációs kompressziós görbe). A normális labor sebességeknél Leroueil et al (1985) [10] szerint a nagyobb terhelési sebesség „merevbb” viselkedést eredményez. A nagy sebességek tartományát kevesen vizsgálták. Itt változás következik be az anyagtörvényben.

Az eredmények egyenlő nagyságú terhelés-növelési lépcsők alkalmazása esetén a Leroueil-féle tendenciával egyeznek. A gyors duplázás esetén tapasztalt érzékeny viselkedést célszerű lenne tovább vizsgálni. Az identifikált konszolidációs tényezők a 1. ábra szerint általában 2e-8-nél nagyobbak, és ez esetben a 6. táblázat szerint kb. 2 h alatt kb 99 %-os konszolidáció lejátszódik. A kővér agyag c_v értéke 4e-9-nél nagyobb, és a 6. táblázat szerint kb. 60%-os konszolidáció érhető el egy óra alatt. Ezek a konszolidációs tényezők hazai viszonyok között tipikusnak tekinthetők ([2]).

6. Összegezés

Az identifikált konszolidációs tényezők az 1. ábra szerint általában $2e-7$ m²/s értéknél nagyobbak. A $c_v > 2E-8$ m²/s-al jellemezhető talajok esetén kb. 2 óra alatt lejátszódik az elsődleges konszolidáció. Ez az eset fordult elő egyetlen kivétellel minden vizsgált talaj esetén. Így elvégezhető 1 nap alatt a kísérlet, ha 1-2 h hosszú szakaszokat alkalmaznak, és csak az utolsó során várják ki az elsődleges konszolidációt.

A rövid szakaszokhoz tartozó kompressziós görbe pont - az utolsó szakaszhoz identifikált c_v felhasználásával – implicit regularizációval – határozható meg abból a metszetből, amelyen a jó minimum nem is látható (2. ábra). A metszetet a módosított Terzaghi-féle (A) modell alapján célszerű megállapítani hierarchikus inverz probléma megoldással.

A rövid szakaszok adatai alapján, az “A” modell felhasználásával számolt kompressziós görbe pontok hibáját lényegesen nem befolyásolta az alkalmazott terhelési lépcsők nagysága. Kis mértékű eltérés két olyan esetben jelentkezett, amikor a rövid szakaszok terhelését duplázták.

Köszönetnyilvánítás

A munka az OTKA T023119 támogatásával készült, a méréseket Vértes Katalin és Menyhárt Péter végezte.

7. Hivatkozások

- [1] Rétháti, L. & Ungár, T. 1978. Nagy lakóterületek talajfizikai jellemzőinek statisztikus kiértékelése. Például Szeged városa. Építésépítészettudomány X(1-2)
- [2] Imre, E. (1995). Model discrimination for conventional step-loaded oedometric test. Proc. of the Int. Symp. on Compression and Cons. of Clayey Soils, IS-Hiroshima'95, 525-530.
- [3] Terzaghi, K. (1923). Die Berechnung der Durchlässigkeitsziffer des Tones aus dem Verlauf der hydrodynamicshen Spannungsercsheinungen, Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Abt.IIa, Vol. 123.
- [4] Bjerrum, L.; Simmons, N.; Torblaa, A. (1958). The Effect of time on the shear strength of a soft marine clay. *Publication No. 33. Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.*
- [5] Imre, E. (1996). Inverse problem solution with a geometrical method. *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Inverse Problems in Engineering. Le Croisic, France.*331-338.
- [6] Imre, E; Hegedus, Cs; Kovács, S; Kovács, L Reducing numerical work in non-linear parameter identification (2021) <https://arxiv.org/submit/4630282>
- [7] Press, W.H.; Flannery, B.P.; Teukolsky, S.A.; Wetterling, W.T. (1986): Numerical Recipes. Cambridge Univ. Press, Cambridge
- [8] Vértes, K. & Menyhárt, P. 1998. Kompressziós kísérlet rövidebben *BME: TDK dolgozat*
- [9] Leonards, G.A. & Altschaeffl, A.G. 1964. Compressibility of clays. J. Soil Mech. Found. Div. Proc. ASCE, 90 (sm5), 133-155.
- [10] Leroueil, S.; Kabbaj, M.; Tavenas, F.; Bouchard, R. (1985). Stress-strain rate relations for the compressibility of sensitive natural clays. *Geotechnique*, Vol.35., No.2. pp. 159-175.



Magas roncsolási küszöbű femtoszekundumos lézertükrök tesztelése

Testing of high damage threshold femtosecond laser mirrors

Inger Ádám, Rác Péter, Dombi Péter

HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest, Magyarország, inger.adam@wigner.hun-ren.hu

Összefoglalás

A femtoszekundumos lézerek technológiájának rövid bemutatása után, ismertetjük a lézer indukálta roncsolási küszöb (LIDT) mérésének módszereit. Kitérünk a hatásmechanizmusokra, detektálási módszerekre is. Bemutatjuk a Wigner FK-ban kifejlesztett mérési módszert, majd ismertetjük a mérőállomás felépítését. Végül bemutatjuk az ipari partnerünk (Layertec GmbH) által biztosított kísérleti tükrökön végzett mérések eredményeit.

Kulcsszavak: lézer, optika, roncsolási küszöb

Abstract

After a brief presentation of the technology of femtosecond lasers, we describe measurement methods of the laser induced damage threshold (LIDT). We present the measurement method developed at Wigner RCP, and then describe the measurement setup. Finally, we present the results of measurements on the experimental mirrors provided by our industrial partner, Layertec GmbH.

Keywords: Laser, optics, damage

1. Bevezetés

A lézertechnológia fejlődésének fontos eredménye, az ultrarövid impulzusú, ugyanakkor nagy energiájú lézerimpulzusok megjelenése. Az 1970-es évekhez képest mind a két paraméter nagyságrendeket javult. A kezdetben használt nanoszekundumos lézereket gyorsan túlszárnyalták a piko-, majd a femtoszekundumos lézerek. Az impulzushossz csökkenésének és a lézererősítők fejlődésének köszönhetően a lézerimpulzusok csúcshintéztása jelentősen nőtt.

A femtoszekundumos lézerek új kutatási és fejlesztési területek megjelenéséhez vezettek. Megalapozták az attoszekundumos tudományt, rengeteg új orvostudományi alkalmazást, az iparban is felismerték az előnyeiket, mint például a precíziós anyagmegmunkálást. Használják még őket a telekommunikációban vagy a spektroszkópiában.

1.1 CPA lézerek

A mai femtoszekundumos nagy impulzusenergiájú lézertechnológia egyik alapja a fázismodulált impulzuserősítés (angolul Chirped Pulse Amplification vagy CPA). A technika

megalkotása Donna Strickland és Gérard Mourou nevéhez fűződik, akik 2018-ban kaptak Nobel-díjat ennek a módszernek a megalkotásáért.

A CPA lézerek lényege, hogy az oszcillátorból érkező impulzusvonalat optikai rácson és egy fókuszáló tükrön többször átvezetve megnyújtanak. Az időben megnyújtott nyaláb intenzitása ezáltal csökken, aminek következtében biztonságossá válik annak erősítése, és el lehet kerülni az optikai elemek roncsolását az erősítési folyamat során. A következő lépésben az erősített, de időben megnyúlt impulzust időben újra összenyomják egy optikai rácspárral. Így az erősítő fokozatot elhagyó impulzus energiája nagymértékben növelhető, akár 5-6 nagyságrenddel is, az optikai elemek roncsolásának veszélye nélkül. [1]

1.2 Femtoszekundumos optikai elemek

Az ultrarövid impulzusok széleskörű alkalmazása miatt kiemelten fontos a használt optikák megbízhatósága, tartóssága, pontossága, és hogy a kimenet reprodukálható és formálható legyen. Az ultrarövid impulzusok esetén nagyon extrém tulajdonságokkal kell számolni, ilyenek az impulzusedő, az ehhez kapcsolódó széles spektrum, illetve esetlegesen a nagyon magas csúcsteljesítmény, éppen ezért a hagyományos optikák használata problémát okozhat ebben a tartományban. Emiatt van szükség speciálisan tervezett optikai elemekre. Ezen optikák tervezésénél számos szempontot kell figyelembe venni, a reflexiók, vagy transzmissziós tulajdonságokat, a sávzélességet, adott esetben a csúcsteljesítményt.

2. Lézer által indukált roncsolás

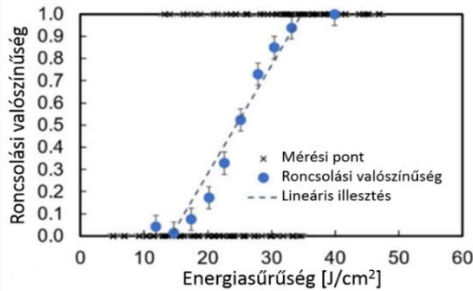
Minden olyan irreverzibilis változást, ami lézerbesugárzás következménye, lézer által indukált roncsolásnak nevezhetünk. Azért, hogy a nyalábutakban lévő optikai elemek roncsolását elkerüljék, a nyalábméretet meg kell növelni, hogy ezáltal csökkentsük az intenzitást. Ennek következménye viszont az, hogy magukat az optikai elemeket is meg kell növelnünk.

Az optikai elemek lézeres roncsolását számos tényező befolyásolja. Ezen tényezők egyik csoportja a lézerimpulzus paraméterei, mint impulzushossz, hullámhossz, ismétlési frekvencia, nyalábprofil, polarizáció. A második csoportba sorolhatóak a környezeti paraméterek, ilyenek például, a hőmérséklet, páratartalom, szennyezettség. A harmadik csoport pedig a tükrök tulajdonságait foglalja magába, többek között anyaghibák, bevonatolás módja, rétegrend, rétegvastagság, illetve a felhasznált anyagok típusai. A roncsolási hatásmechanizmusok szempontjából, az egyik legfontosabb paraméter az impulzushossz. Hosszú impulzusok esetén (~nsec) többnyire a termikus hatások érvényesülnek. Rövid impulzusok esetén (~psec) a roncsolás kiváltó okai leggyakrabban a zárványok, anyaghibák, rácshibák a kiváltó okok. Az ultrarövid (~fsec) tartományban a nemlineáris kölcsönhatások kapják a főszerepet. [2]

2.1 LIDT – Lézerindukált roncsolási küszöb

Az LIDT (laser induced damage threshold) megadja azt az energiasűrűséget, ahol a sérülés extrapolált valószínűsége 0. Az ISO 21254 szabványba foglalt módszerek a „1-on-1”, [3] „S-on-1”, [4] és „certification test”, [5]. Vannak továbbá nem standardizált, de széleskörűen elfogadott, jól definiált módszerek, ilyenek az „R-on-1” [6] és a raszteres vizsgálat [7]. A mérési módszerek lényege, hogy a vizsgált optikát felosztják mátrixpontokra, majd előre meghatározott intenzitással besugározzák azokat, a választott módszernek megfelelően. Miután az összes pontot besugározták, megvizsgálják, hogy mely pontokon következett be sérülés. Ez alapján meghatározható, hogy adott intenzitás mellett mekkora a roncsolás valószínűsége. A besugárzás függvényében ábrázolt roncsolási valószínűség megadja a roncsolási görbét. Ha az adott intenzitáshoz tartozó egyetlen mérési ponton sem észleltek roncsolást, akkor a roncsolás valószínűsége 0%, ha az összes

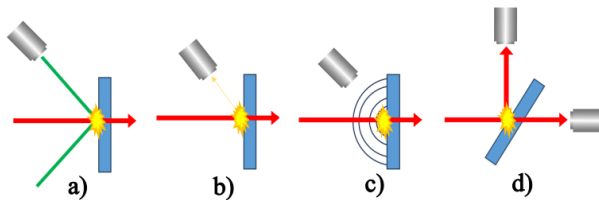
besugárzott pont roncsolódott, akkor 100%. Ezen két pont közötti átmenetre jellemzően egy egyenes illeszhető, ezt az egyenest extrapolálva meghatározható az a pont, ahol a roncsolás valószínűsége 0%. Egy másik módszer, hogy a legnagyobb nem roncsoló, és a legkisebb roncsoló teljesítmény átlagát adják meg, mint roncsolási küszöbérték.



1. ábra Roncsolási valószínűség görbe, amelyen a kék pontok jelzik az adott energiasűrűséghez tartozó roncsolódási valószínűséget, a 0 % és 100 % közötti pontokra elvégezve az illesztést, megkapjuk a roncsolási küszöböt. [8]

2.2 Detektálási módszerek

Mérések folyamán az optika roncsolódását többféle eljárással lehet detektálni, melyekből néhányat ábrázoltam a 3. ábrán.



2. ábra A fenti képen látható eljárások: a) szórás detektálás b) plazmakisülés detektálás c) akusztikus hullám detektálás d) transzmisszió/reflexió változás detektálás

A szórás detektálása Schlieren-módszerrel egy viszonylag egyszerű detektálási módszer, lényege, hogy a vizsgált pontra egy (folytonos) lézernyalábot vezetnek, majd a reflektált nyalábot lefókuszálják, ezt követően újrakollimálják, és az újrakollimált nyalábot figyelik kamerával. Ezután a fókuszpontban kitakarják a nyalábot egy tüvel, így az eltűnik a kameraképről. Az optika sérülése esetén, a szórt fény elkerüli a fókuszot, így az kamerával sötét háttéren jól detektálható. A plazmakisülés és az akusztikus hullám detektálására is van lehetőség, melyek a sérülés pillanatában jelentkeznek. Ezen két módszer esetén nehéz a pontos detektálás és a zajtól történő elkülönítés, így használatuk nem terjedt el. A transzmisszió és reflexióváltozás megfigyelése esetén megvizsgáljuk az adott pont reflexióját és transzmisszióját besugárzás előtt és után. Ha a besugárzás következtében az optikai elem roncsolódott, akkor mérhető elváltozást lehet detektálni. A legmegbízhatóbb módszer a hibák kimutatására a DIC (Differential interference contrast, differenciál interferencia kontraszt) mikroszkóp használata. Az eljárás segítségével átlátszó anyagok esetén is nagyon jól látható minden változás. Nagy hátránya azonban, hogy nehezen automatizálható, mind helyigénye, mind pedig hatalmas adatigénye miatt. Emiatt inkább jellemzően utólagos értékelésre használható. [9]

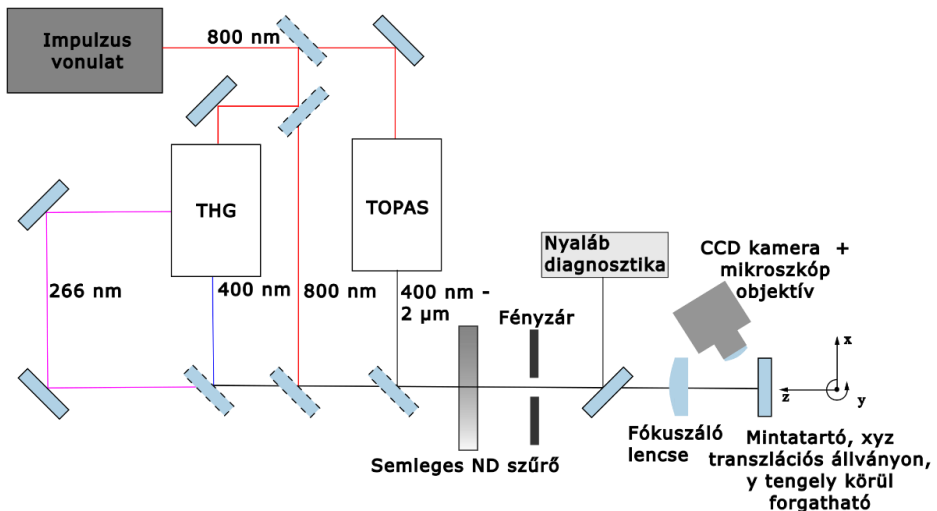
2.3 “Ötpontos” mérési módszer

Ez a Wigner Fizikai Kutatóintézetben kifejlesztett módszer. A mérési folyamat 800 nm-es hullámhossz esetén a nyalábút centrálásával kezdődik, a mintához vezető nyalábúton. Ezt követően megmérjük a fókuszfolt méretét. Majd, a tükörtartóba behelyezünk egy próbaüveget, és a z-tengely mentén, ami a nyalábúttal párhuzamos (optikai tengely), megkereshető a fókuszfolt síkje. A fókuszfolt síkjának meghatározását nagyban segíti, hogy a teljesítmény növelése esetén elérhető fehérfénykeltés az üvegen. [10]

A fókuszfolt beállítását követően a próbaüveg helyére helyezzük a mintát. Ezután megkezdjük a mérést, amelynek a folyamata a következőképpen történik. A roncsolási küszöbnél alacsonyabb intenzitással besugározzuk a mintát. A fényzár segítségével az összes besugárzás azonos ideig tart. Minden alkalommal a fényzár nyitása előtt a teljesítményt növeljük és feljegyezzük. A roncsolás bekövetkeztéig ismételjük a fenti lépéseket. A roncsolás pillanatában a kameraképen felvillanás tapasztalható, továbbá a fényzár zárása után láthatóvá válik a roncsolt folt a kameraképen. A roncsolási küszöb megállapításához vesszük a legkisebb roncsoló, és legnagyobb nem roncsoló teljesítmény átlagát. Ezt öt alkalommal, új tükörfelületen megismételjük, majd az összes mérés átlagából megkapjuk a roncsolási küszöböt. A mérés hibáját a mérési pontok szórásnégyzetéből határozzuk meg. Ezt követően Gauss-hibaterjedéssel számolunk hibabecelest.

3. Eredmények

Ipari partnerünk, a Layertec GmbH kérésére fejlesztettük tovább a mérőállomást úgy, hogy több hullámhosszra szolgáló optikai elem roncsolási küszöbe is mérhetővé váljon. Az alábbi ábrán látható, a mérőállomás elrendezése



3. ábra Az erősítőtől kilépő 800 nm-es impulzusvonalat közvetlenül, vagy a THG-n keresztül 266 nm-t, vagy 400-t generálva, illetve a TOPAS-on keresztül 400 nm és 2 μ m közötti tartományban használható fel.

Az erősítőtől érkező 800 nm középhullámhosszal rendelkező nyalábút használtunk fel oly módon, hogy tükrök ki- és behelyezésével lehet a kívánt nyalábútak között váltani. Az egyik nyalábút egyenesen a mintához megy, így közvetlenül használható fel. Ebbe a nyalábútba helyezhető be egy harmadik harmonikust keltő nemlineáris egység, mely 400 nm hullámhosszal rendelkező nyalábút

hoz létre, majd összefrekvenciát keltve 266 nm-est is. Az így létrejövő nyalábokat szeparátortükrök felhasználásával külön-külön vezettük tovább a mintához, a két nyaláb között könnyedén lehet váltani. Az erősítőtől kilépő nyaláb egy mágnesesen rögzített tükör segítségével terelhető egy további nyalábutra, ahol egy OPA (Optical parametric amplifier, Optikai parametrikus erősítő) segítségével állítható elő 400 nm-től 2 μm -ig bármely hullámhossz.

3.1 Mérési eredmények

Az alább látható táblázatban az ipari partnerünk által szolgáltatott kísérleti tükrök mérési eredményei láthatóak. Különlegességük, hogy speciális felhasználásra szánt nagydiszperziójú tükrök, és diszperziójuk nagyságrendekkel nagyobb, mint a hagyományos csörpölt tükröknek. Ezen tükrök diszperzióját a GDD (Group delay dispersion, csoport késleltetés diszperzió) értékkel jellemezzük. Elvégeztük továbbá egy fém-dielektrikum hibridtükör, és egy hagyományos nagy reflexiójú tükör vizsgálatát is, hogy az adatok összevethetőek legyenek.

1. táblázat Mérési eredmények

Sorszám	Hullámhossz[nm]	Réteg anyaga	GDD [fs ²]	Rétegszám	F LIDT [mJ/cm ²]	Hiba [%]
1	800	Ag, Ta ₂ O ₅	>20	9	390	2,63
2	800	TiO ₂	>20	2	120	8,23
3	800	Ta ₂ O ₅	-50000	142	80	12,85
4	800	Ta ₂ O ₅	-3500	228	110	9,15
5	1030	Ta ₂ O ₅	-40000	162	150	10,55
6	1030	Ta ₂ O ₅	-5000	164	160	10,08
7	1030	Ta ₂ O ₅	-1000	160	120	12,91

A mérések alapján a fém-dielektrikum hibridtükör roncsolási küszöbe kiemelkedik a többi vizsgált tükrökhöz képest. Továbbá úgy tűnik, hogy a TiO₂ bevonatú nagyreflexiójú tükrőtől nem marad el a Ta₂O₅ nagydiszperziójú tükrök roncsolási küszöbe. Ennek oka valószínűsíthetően a felhasznált anyagok tulajdonságaiból és a tükör típusából ered, mivel a TiO₂ tiltott sávja alacsonyabb (3.3 eV) mint a Ta₂O₅-nak (4.2 eV) és általánosságban elmondható, hogy a nagyobb tiltott sávhoz magasabb roncsolási küszöb tartozik. Azonban a nagy diszperziójú tükrök esetén alacsonyabb eredményt várnánk, mert elsősorban az optimalizáció célja a kívánt GDD elérése, és nem a magas roncsolási küszöbé. [11]

Az 1030 nm-re szánt nagy diszperziójú tükrökön végzett mérések alapján arra következtethetünk, hogy a GDD nem befolyásolja nagymértékben a roncsolási küszöböt. Ugyanez elmondható a rétegszám esetén is. Az eredmények alapján úgy tűnik, hogy lézerefény hullámhosszától azonban függ a roncsolási küszöb.

3.2 Összefoglalás

Az általunk megállapított roncsolási küszöbök megközelítik a Layertec GmbH által előzetesen becsült értékeket. További hullámhosszakra is folynak fejlesztések, így 400 nm-en és 266 nm-en várhatóak további nagydiszperziójú, kísérleti tükrök. Méréseink alapján a nagydiszperziójú tükrök esetén a GDD nagy mértékben nem befolyásolja a roncsolási küszöböt. A mérési sorozat alapján nem mutatkozik számottevő hatás a rétegszámok tekintetében sem. Mivel úgy tűnik, hogy a hullámhossz függés mérhető, így tervezzük, hogy szélesebb spektrummal rendelkező fém és fém-dielektrikum hibridtükör esetén vizsgáljuk a lézerefény hullámhosszának hatását a roncsolási küszöbre.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet nyilvánítani Csajbók Viktóriának a mérőállomás kialakításában nyújtott segítségért. Továbbá köszönjük a támogatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak (2018-1.2.1-NKP-2018-00012, TKP2021-NVA-04)

4. Hivatkozások

- [1] Colin N. Danson, et al., “Petawatt and exawatt class lasers worldwide,,” *High Power Laser Sci. Eng.*, **7**, e54. (2019)
- [2] D. Ristau, et al., “Standardization in optics characterization, ,” in *Laser-Induced Damage in Optical Materials 2018*, SPIE, pp. 30-43. (2018)
- [3] Lidaris, „ISO 1-on-1 LIDT test,” 27 11 2023. [Online]. Available: <https://lidaris.com/tests/1-on-1-lidt-test/>. [Hozzáférés dátuma: 27 11 2023].
- [4] Lidaris, „ISO S-on-1 LIDT test,” 27 11 2023. [Online]. Available: <https://lidaris.com/tests/s-on-1-lidt-test/>.
- [5] Lidaris, „ISO LIDT Certification test,” 27 11 2023. [Online]. Available: <https://lidaris.com/tests/lidt-certification-test/>. [Hozzáférés dátuma: 27 11 2023].
- [6] Lidaris, „R-on-1 LIDT test,” 27 11 2023. [Online]. Available: <https://lidaris.com/tests/r-on-1-lidt-test/>. [Hozzáférés dátuma: 27 11 2023].
- [7] Lidaris, „Raster Scan LIDT test,” 27 11 2023. [Online]. Available: <https://lidaris.com/tests/raster-scan-lidt-test/>. [Hozzáférés dátuma: 27 11 2023].
- [8] T. Gischkat, et al., „Substrate Cleaning Processes and Their Influence on the Laser Resistance of Anti-Reflective Coatings”, *Appl. Sci.*, **10**, p. 8496, (2020)
- [9] Edmund optics GmbH „Laser Damage Threshold Testing” 27 11 2023 [online]. Available: <https://www.edmundoptics.eu/knowledge-center/application-notes/lasers/laser-damage-threshold-testing/> [Hozzáférés dátuma: 27 11 2023]
- [10] B. J. Nagy, et al., „Direct comparison of kilohertz- and megahertz-repetition-rate femtosecond damage threshold”, *Opt. Lett.*, **40**, p. 2525 (2015)
- [11] V. Csajbók, et al. „Femtosecond damage resistance of femtosecond multilayer and hybrid mirrors.”, *Opt. Lett.*, **41**, 15: 3527-3530 (2016)



Lehetőségek a nagy-entrópiájú ötvözetek tervezésére

Possibilities for the design of high-entropy alloys

^{1,2,3}Juhász Gergely, ^{1,2,3}Hareancz Ferenc, ¹Fábián Enikő Réka, ²Vida Ádám

¹*Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország,*
gregoryshepard.95@gmail.com, har.ferenc@gmail.com, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

²*Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Budapest, Magyarország,*
gergely.juhasz@bayzoltan.hu, ferenc.hareancz@bayzoltan.hu, adam.vida@bayzoltan.hu

³*Neumann János Egyetem. Kecskemét, Magyarország,* juhasz.gergely@nje.hu,
hareancz.ferenc@nje.hu

Összefoglalás

A nagy-entrópiájú ötvözetekről először 2004-ben publikáltak, melyek iránt azóta nagyon megnőtt érdeklődése az anyagtudománnyal foglalkozók körében. Ez annak köszönhető, hogy lehetőség adódott különleges tulajdonsággal bíró ötvözetek létrehozásának. A kutatók szerint a nagy-entrópiájú ötvözetek különleges tulajdonságait a négy alapeffektusuknak köszönhetik. Ezen különleges ötvözetek elkészítése nagy kihívást jelentenek, mivel a kívánt tulajdonságok eléréséhez az összetevőket helyesen kell megválasztani és megfelelő gyártási módszert szükséges alkalmazni. A cikk a nagy-entrópiájú ötvözetek alap effektusairól, továbbá a tervezési lehetőségeiről szól.

Kulcs szavak: modern anyagok, nagy-entrópiájú ötvözetek, ötvözet fejlesztés, CALPHAD

Abstract

High-entropy alloys were first published in 2004, and have since attracted a lot of interest among materials scientists. This is due to the opportunity to create alloys with special properties. The special properties of high-entropy alloys are due to four basic effects that the researchers have identified. The preparation of these special alloys are challenging because the right choice of components and manufacturing method are required to achieve the desired properties. This article discusses the basic effects of high-entropy alloys and their design possibilities.

Keywords: modern materials, high-entropy alloys, alloy development, CALPHAD

1. Bevezetés

Az emberiség történelmében az anyagválasztás alapjaként mindig az anyag tulajdonsági álltak. Az anyagtudománnyal foglalkozó kutatók folyamatosan az ideális anyag létrehozására törekedtek, melynek lehetőleg minden tulajdonsága megfelel és minél kevesebb negatívummal rendelkezik. A metallurgia tudományának fejlődésével egyre különlegesebb ötvözeteket tudtak létrehozni a kutatók, melyek egyedi tulajdonságokkal rendelkeztek. Ilyen ötvözetek például a háromalkotós ötvözetek, a fémüvegek, a tömbi amorf anyagok, Heusler-ötvözetek stb [1].

A nagy-entrópiájú ötvözetekről (HEA – High-Entropy Alloys) először 2004-ben számolt be két egymástól független publikáció, melynek szerzői Brian Cantor [2] és Jien-Wei Yeh [3]. A nagy-

entrópiájú ötvözetek legalább öt közel azonos atomszázalékban összekevert komponensből állnak, melyekhez kisebb arányban (<5%) további összetevőket adhatnak. Az ötvözet összetételének helyes megválasztásával a kapott anyag különleges tulajdonságokkal bírhat, melyet a hagyományos ötvözetek esetében nem lehet elérni. Ilyen tulajdonságok lehetnek például a kitűnő képlékenységi és szilárdsági jellemzők, a kopásállóságuk, a korrozioállóságuk, a termikus stabilitásuk stb. A nagy-entrópiájú ötvözetek határtalan lehetőségeket kínálnak az ötvözetfejlesztésben, viszont a komponensek megválasztásának bonyolultsága és a megfelelő előállítási módszer alkalmazásának nehézsége miatt a kutatók egyre nagyobb érdeklődéssel foglalkoznak a témával [1, 4].

2. A nagy-entrópiájú ötvözetek alap hatásai

A hagyományos ötvözetek egy fő alkotóból állnak, amelyhez kis mértékben további ötvöző anyagokat adagolunk. Ezek az ötvözetek szilárd fázisokból és/vagy intermetallikus vegyületekből tevődhetnek össze. Nemegeyensúlyi állapotukban néhány ötvözet fémüveg is lehet. Egy két komponensű ötvözetrendszerben az oldhatóságot a Hume-Rothery szabály alapján lehet megállapítani, melyek szerint a két alkotó rácsszerkezete, atomsugár méretkülönbsége, vegyértéke és elektronszerkezete a fő befolyásoló tényező. Ezek a tulajdonságok a Gibbs-féle szabadentalpia (1) egyenletében található keveredési entrópiáját is befolyásolja, amely, ha negatív, akkor intermetallikus vegyület képződés, pozitív esetén klaszteresedés, 0 közeli érték során pedig szilárd oldat létrejötte a jellemző [1].

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

ahol: ΔG – szabadentalpia, ΔH – a keveredési entalpia, T – a hőmérséklet és a ΔS – a keveredési entrópia.

A keveredési entalpia és a keveredési entrópia versenye tovább befolyásolja a két komponens közötti oldhatóságot.

Egy ötvözet szilárd állapotában számos lehetséges állapot létezik, viszont az egyensúlyi az, amelyik a termodinamika második törvénye szerint a legkisebb szabadentalpiával rendelkezik. Az egymással versengő állapotoknak három lehetséges kategóriája van: az elemi fázisok, az intermetallikus vegyületek és az ötvözet legalacsonyabb olvadáspontja alatti szilárd oldatfázisok [5]. Az intermetallikus fázisok vagy az intermetallikus vegyületeken alapuló köztes fázisok szintén szilárd oldatnak tekinthetők, de ezek részben rendezett szilárd oldatok [6, 7]. Az ilyen fázisokban a különböző alkotóelemek általában különböző rácshelyeket foglalnak el [5].

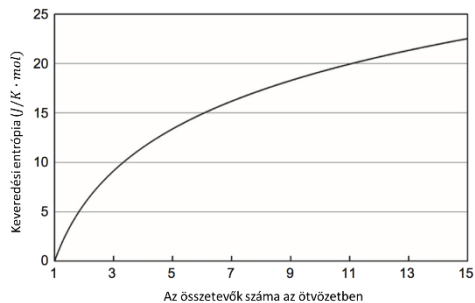
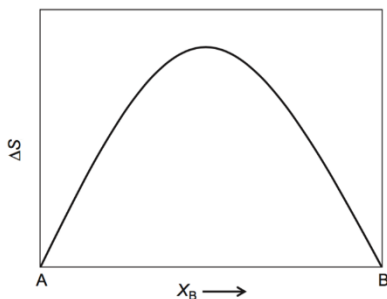
2.1 Nagy entrópia

Az ötvözetek hagyományos előállítási módjaitól jelentősen eltérve Cantor és társai, valamint Yeh és társai egymástól függetlenül előálltak az ötlettel, hogy olyan többkomponensű ötvözeteket készítsenek, melyek összetevői közel azonos atom százalékban legyenek jelen a keverékben. Yeh és társai [3] nevezték ezeket az ötvözeteket nagy-entrópiájú ötvözetként, rámutatva arra az ismert termodinamikai tényre, hogy egy bináris ötvözet keveredési entrópiája (2) maximális, ha az elemek egyenlő atom százalék arányban vannak, és hogy a maximális konfigurációs entrópia (3) bármely rendszerben nő a rendszerben lévő elemek számának (N) növekedésével (1. ábra) [1].

$$\Delta S = -R(X_A \ln X_A + X_B \ln X_B) \quad (2)$$

$$\Delta S = -R \ln N \quad (3)$$

ahol: R – a gázállandó, $8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$.



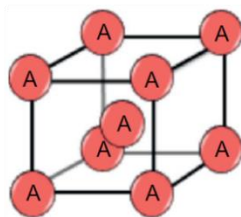
1. ábra A keveredési entropia, változása egy bináris (bal) és egy többkomponensű ötvözetben (jobb) [1].

A kutatás során megállapították, hogy a nagy keveredési entropia hatással van az alkotófázisokra, a fázisok kialakulásának kinetikájára, a rácsfeszítésre és így a tulajdonságokra. Különösen fokozza az alkotó komponensek közötti kölcsönös oldhatóságot, és egyszerűbb fázisokhoz és mikroszerkezethez vezet, amire korábban nem számítottak. Bár Yeh és társai eredetileg azt javasolták, hogy a nagy keveredési entropia miatt ezek az ötvözetek hajlamosak szilárd oldatokat képezni, beleértve a rendezetlen és részben rendezett szilárd oldatokat is, az utóbbi években intenzív kutatások folytak különböző szabályokra vagy kritériumokra vonatkozóan. A kutatók olyan paramétereket vizsgáltak, mint a konfigurációs entropia, a keverési entalpia és a különböző elemek közötti atomi méretkülönbség, hogy megjósolják az ötvözetben kialakuló fázis jellegét. Továbbá különböző számítógéppel segített termodinamikai számításokkal próbálták megbecsülni a kialakuló fázisokat több komponensű ötvözetek esetén [1, 8 - 11].

2.2 Erős rácsstorzulás

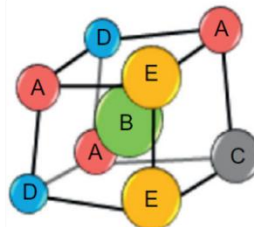
A nagy-entrópiájú ötvözetek esetén a keletkezett szilárd oldatok egy többkomponensű mátrixot alkotnak, melyekben minden atomot más és más elem vesz körül (2. ábra). Az atomok méreteinek különbségéből adódóan a rács torzul, ami miatt megnő a belső feszültség [1].

Egy összetevőből álló rácsszerkezet



TKK
Nincs rácsstorzulás

Több összetevőből álló rácsszerkezet



TKK
Nagy mértékű rácsstorzulás

2. ábra Sematikus ábra az egy (bal), illetve a több (jobb) összetevőből álló rácsszerkezetről [1].

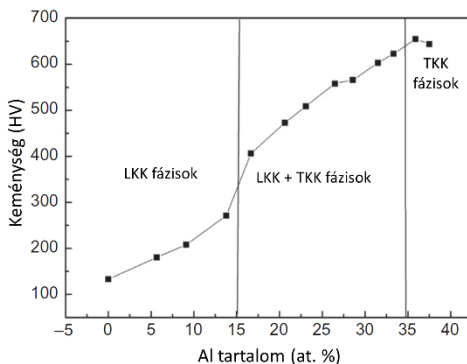
Az atomok méretkülönbsége mellett a különböző összetevők eltérő kristályszerkezete és kötési energiája további rácsstorzuláshoz vezet. Ez a nem szimmetrikus kötési energiáknak és a nem egységes elektronstruktúrának köszönhető. A rácsstorzulás növeli az ötvözet keménységét és szilárdságát, továbbá a hőmérséklet kevésbé befolyásolja az anyag tulajdonságait [5].

2.3 Lassú diffúzió

A diffúzióval történő fázisátalakulás során az új fázisok kialakulásához sok különböző típusú atom együttes diffúziójára van szükség, hogy a nagy-entrópiájú ötvözetekben megvalósuljon az összetétel felosztása. A nagy-entrópiájú ötvözetekben lassabb a diffúzió és nagyobb az aktiválási energia a rácspotenciális energia (LPE – Lattice Potential Energy) nagyobb fluktuációjára miatt [12, 13]. A nagyszámú alacsony rácspotenciális energiával rendelkező részek csapdaként szolgálhatnak, és akadályozhatják az atomok diffúzióját. Ez vezet a lassú diffúzió hatáshoz. A lassú diffúzió befolyásolhatja a csíráképződés számát, növekedését és eloszlását, valamint az új fázis morfológiáját. A mikroszerkezet és a tulajdonságok szabályozásában is számos előnnyel jár a lassú diffúzió, mivel így könnyen elérhető a túltelített állapot és a finom kiválások képződése, továbbá nagyobb az ötvözet újrakristályosodási hőmérséklete és lassabb a szemcsedurulás sebessége [13, 14].

2.4 Kocktél hatás

A nagy-entrópiájú ötvözetek összetételtől és feldolgozástól függően lehetnek egy-, két-, három- vagy több fázisúak. Minden fázis egy-egy multikomponensű szilárd oldat, mely atomi szintű kompozitként fogható fel. Az így alkotott ötvözet összetett tulajdonságai nemcsak az elemek alapvető tulajdonságaiból származnak, mely a keveredési szabály alapján jönnek létre, hanem az összes elem közötti kölcsönhatásokból és az erős ráctorzulásokból is. Ez összefügg a fázisok méretével, alakjával, eloszlásával, a fázishatárokkal és azok tulajdonságaival. Yeh és társai [15] egy példát mutattak be a kocktél hatásra, melyet a 3. ábra mutat be.



3. ábra A kocktél hatás megjelenése az $Al_xCoCrCuFeAl$ ötvözet alkotó elemeinek kölcsönhatása révén [15].

A 3. ábrán látható, hogy az $Al_xCoCrCuFeAl$ ötvözetben található elemek kölcsönhatása megváltozik az ötvözet alumínium tartalmának növelésével, amely különböző rácsszerkezetű fázisokat eredményez. Ezt a kocktél hatással lehet magyarázni.

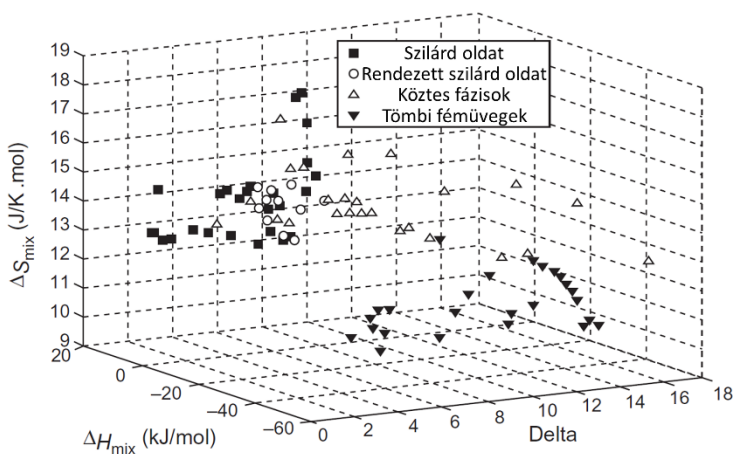
3. A nagy-entrópiájú ötvözetek tervezésének lehetőségei

A nagy-entrópiájú ötvözetek tervezése bonyolult feladat, mivel nehéz megállapítani milyen elemeket mekkora arányban keverjük össze, hogy az elvárt tulajdonságokat elérjük. A Hume-Rothery keveredési szabályok alkalmazása két, esetleg három alkotós rendszerek esetén alkalmazható, több elem esetén már nem lehet a szilárd oldat képződést megjósolni vele. Több alkotós ötvözetek létrehozására először a nagy entrópia hatást használták ki, amely a már említett

Gibbs-féle szabadentalpia egyenletében (1) található entalpia és entrópia tag fázis képződés befolyásoló tényezőjére támaszkodtak. A nagy-entrópiájú ötvözetek tervezésének több lehetősége is adott: különböző termodinamikai szabályok és paraméterek alapján becsljük meg a létrejövő ötvözet szerkezetét és tulajdonságait, vagy számítógéppel segített számításokat végeztünk különböző szoftverekkel [16].

3.1 Az oldhatóság megbecslése termodinamikai szabályokkal és paraméterekkel

A tömbi fémüvegek (BMG – Bulk Metallic Glasses) hasonló több komponensű anyagoknak tekinthetők, mint a nagy-entrópiájú ötvözetek, ezért néhány termodinamikai paraméterük használható tervezésükhöz. A kutatók kísérleteztek, hogy a szilárd oldat képződés tendenciáját és az üvegeképző képességet (GFA – Glass Forming Ability) kapcsolatba hozzák. A tömbi fémüvegek és a szilárd oldat kialakulásának feltételeinek elhatárolására különböző termodinamikai paramétereket használtak, mint a keveredési entalpia (ΔH_{mix}), a keveredési entrópia (ΔS_{mix}), és az atomok méretkülönbsége (δ) [17]. Zhang és társai [17] kimutatták, hogy a következő kritériumoknak megfelelő paraméterekkel rendelkező ötvözetekben egyszerű szilárd oldatok alakulnak ki: $-20 < \Delta H_{mix} < 5 \text{ kJ/mol}$, $12 < \Delta S_{mix} < 17,5 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$, $\delta \leq 6,4\%$ (4. ábra).



4. ábra Az entrópia, az entalpia és a δ hatása a tömbi fémüvegek és a nagy-entrópiájú ötvözetek fázis képződésére [17].

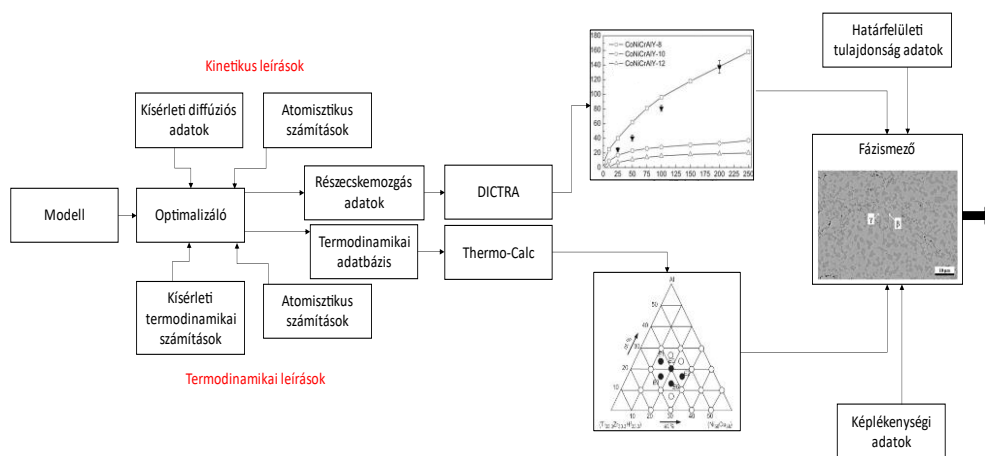
Ha rendezetlen szilárd oldatot szeretnénk eredményként, akkor ezek a kritériumok tovább szigorodnak, a keveredési entalpiának $\Delta H_{mix} \geq -15 \text{ kJ/mol}$ és az atomok méretkülönbségének $\delta \leq 4,6\%$ kell lennie [17].

3.2 Számítógépes tervezési lehetőségek

A 21. században egy új tudományág kezdett el fejlődni az ötvözetek tervezésére, mely a számítógépek számolási kapacitására támaszkodik. Az angol irodalom ezt „Integrated Computational Materials Engineering”-nek (röviden: ICME) nevezi, melyre elfogadott magyar fordítás egyelőre nincs. Az ICME egy fejlődő multidiszciplináris terület a termékek, az azokat alkotó anyagok és a hozzájuk kapcsolódó feldolgozási módszerek tervezésére, mely összekapcsolja az anyagmodelleket a nanométertől a méterig terjedő hosszúsági skálákon. Az ICME kombináltan használ különböző szimulációs szoftvereszközöket az anyagfejlesztés felgyorsítására, valamint a tervezés és a gyártás egységesítésére. Bár a tudományos kutatók és az ipari felhasználók által

jelentős fejlesztések történtek, az ICME még mindig kezdetlegesnek számít [1].

Az ICME területéhez tartozik a CALPHAD (CALculations of PHase Diagrams) módszer, amely magában foglalja a termodinamikai adatbázisok összegyűjtését, az ezekhez tartozó fázisdiagramok meghatározását és a fázisstabilitásra vonatkozó tulajdonságok kiszámításához felhasználható számítási technikák alkalmazását. A módszert Larry Kaufman és Himo Ansara fejlesztette ki még a 20. században, amellyel ötvözetek fázisdiagramjainak kiszámításán dolgoztak [18]. A CALPHAD sikeres és széles körben alkalmazott eszközzé vált az anyagfejlesztés számos területén. A CALPHAD módszertan használható a relatív fázisstabilitásoknak, az egyes összetevők oldhatóságának, az átmeneti hőmérsékletek, a sebességállandók és a fázisarányok meghatározására. Ezekkel az ismeretekkel lehetséges a megfelelő alapanyag összetétel kiválasztása, hogy elérjük a kívánt anyagi szerkezeteket és tulajdonságokat. A CALPHAD módszertan felhasznál különböző szimulációs technikákat is, mint például a Monte Carlo (MC) és a molekula dinamika (MD - molecular dynamics) módszereket, továbbá alkalmazza a sűrűség-funkcionális elméletet (DFT - density functional theory) is. A DFT szimulációs technikát általában a már meglévő adatbázisokban található információk kiegészítésére vagy új adatbázisok létrehozására használják. Az MD és MC módszereket a csíráképző fázisok/fáziscsoportok szerkezeti és a kezdeti növekedési mechanizmusok kérdéseinek megválaszolására használják, melyeket a kísérletek során kapott eredményekből származtatnak vagy DFT szimulációkból számítanak [16]. Kaufman és Agren [19] egy nemrégiben megjelent cikkében ismerteti a CALPHAD segítségével történő kvantitatív mikroszerkezet-tervezés úttervét (5. ábra).



5. ábra A CALPHAD segítségével történő mikroszerkezet-tervezés útterve [19, 20].

A CALPHAD-módszerben először összegyűjtjük a rendszer alkotóinak rendelkezésre álló termodinamikai tulajdonságait és fázisegyensúlyi adatait. Ezután megkapjuk a rendszer termodinamikai leírását. Ez a leírás alapvetően egy matematikai modell, amely nemcsak az ismert termodinamikai információk reprodukálására használható, hanem ami még fontosabb, remélhetőleg a rendszer ismeretlen termodinamikai tulajdonságait is meg lehet jósolni. A módszer azt az elvet alkalmazza, hogy egy fázis Gibbs-energiája, amely a hőmérséklet és az összetétel függvénye, elegendő a rendszer teljes termodinamikai leírásához, mivel szinte minden termodinamikai tulajdonság levezethető a Gibbs-energiafüggvényből. Ezeket az információkat általában egy optimalizáló motor (pl. Thermo-calc) olvassa be, amely az adatbázisokból származó információkat használja fel a szükséges termodinamikai tulajdonságok és fázisdiagramok levezetéséhez. Ebben a technikában a rendszer stabil vagy metastabil állapotaihoz a Gibbs-energia minimalizálásával jutunk

el. Az optimalizálási eljárás eredménye nemlineáris egyenletek halmaza, amelyek a megfelelő fázisok Gibbs-energiáit és az ismeretlen összetételeket tartalmazzák, amelyeket a szoftvermotor részét képező optimalizálási rutinok segítségével számítanak ki (pl. Thermo-calc és Pandat szoftver). A számítások eredményei a fázisdiagramot ábrázoló vonalak/felületek/hipersíkok [16].

Többkomponensű rendszerek esetében ez a megközelítés jó alternatíva, mivel a bináris és ternáris rendszerek termodinamikai leírásai kombinálhatók és extrapolálhatók geometriai modellek segítségével, így kialakítható egy több, mint három összetevővel rendelkező rendszer termodinamikai leírása, ami egyébként vagy kísérletileg nem lehetséges, vagy elképesztően sok kísérletet igényel. Meg kell azonban jegyezni, hogy a létrehozott adatbázisokat kísérleti úton validálni kell, hogy a levezetett információkkal kapcsolatos bizalom megalapozott legyen [1, 16].

A. Katz-Demyanetz és társai [21] $Al_{0.5}CrMoNbTa_{0.5}$ nagy-entrópiájú ötvözetet készítettek ívolvasztással és elektronsugaras olvasztással. A kapott ötvözet szerkezetét összehasonlították a CALPHAD módszerrel szimulált eredményekkel. A publikáció a kísérleti eredmények és a termodinamikai számítások eredményeinek minőségi összehasonlítása végett végzett szimulációt a nyílt forrásokból vett paraméterek alapján. Megállapították, hogy a számítások és a kísérleti eredmények nagymértékben megegyeznek, továbbá a CALPHAD módszer segíthet a kívánt összetételű nagy-entrópiájú ötvözetek előzetes meghatározásában, valamint a kísérleti eredmények értelmezésében.

4. Következtetés

A hagyományos ötvözet készítés során egy fő elemhez teszünk kis mértékben további elemeket, amelyekkel a tulajdonságait változtatjuk a számunkra előnyös irányba. Ezen ötvözeteknél a fő alkotó elem behatárolja az elérhető tulajdonságokat. Ellentétben a hagyományos ötvözetekkel, a nagy-entrópiájú ötvözeteknél több különböző elem van jelen hasonló arányban, amely lehetőséget ad különleges tulajdonságok elérésére.

A cikk bemutatja a nagy-entrópiájú ötvözetek és a hagyományos ötvözetek közötti lényeges különbségeket, illetve az alap effektusokat, részletezve a tulajdonságokra gyakorolt hatásukat. Ezen publikáció továbbá taglalja a nagy-entrópiájú ötvözetek tervezésének lehetőségeit részletesen bemutatva a CALPHAD módszert.

5. Hivatkozások

- [1] Murty, B.S. Yeh, J.W. Ranganathan, S. (2014). High-Entropy Alloys. Elsevier, ISBN: 978-0-12-800251-3
- [2] Cantor, B. Chang, I.T.H. Knight, P. Vincent, A.J.B. (2004). Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. *Materials Science and Engineering: A*, Volumes 375–377, Pages 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257>.
- [3] Yeh, J.-W. Chen, S.-K. Lin, S.-J. Gan, J.-Y. Chin, T.-S. Shun, T.-T. Tsau, C.-H. Chang, S.-Y. (2004). Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes. *Advanced Engineering Materials*, 6. 299 - 303. <https://doi.org/10.1002/adem.200300567>
- [4] Miracle, D.B. Senkov, O.N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Materialia*, Volume 122, Pages 448-511. ISSN 1359-6454, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>.
- [5] Yeh, J.-W. (2013). Alloy Design Strategies and Future Trends in High-Entropy Alloys. *JOM* 65, 1759–1771. <https://doi.org/10.1007/s11837-013-0761-6>

- [6] Cullity, B. D. (1956). Elements of X-ray Diffraction. Addison-Wesley Publishing.
- [7] Reed-Hill, R. E., Abbaschian, R., & Abbaschian, R. (1973). Physical metallurgy principles (Vol. 17). New York: Van Nostrand.
- [8] Porter, D. A., & Easterling, K. E. (2009). Phase transformations in metals and alloys (revised reprint). CRC press.
- [9] Massalski, T. B. (1989). Phase diagrams in materials science. Metallurgical Transactions A. 1295- 1323. <https://doi.org/10.1007/BF02665490>
- [10] Pettifor, D.G., (1996). Phenomenology and theory in structural prediction. J. Phase Equilib. 17, 384-399.
- [11] de Graef, M.D., McHenry, M.E., (2012). Structure of Materials: An introduction to Crystallography, Diffraction and Symmetry. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [12] Tsai, K.Y., Tsai, M.H., Yeh, J.W., (2013). Sluggish diffusion in CoaCraFeaMnaNi highentropy alloys. Acta Mater. 61, 4887-4897.
- [13] Kao, Y.F., Chen, S.K., Chen, T.J., Chu, P.C., Yeh, J.W., Lin, S.J., (2011). Electrical, magnetic and Hall properties of AlxCoCrFeNi high-entropy alloys. J. Alloys Compd. 509, 1607-1614.
- [14] Yeh, J.W., Chang, S.Y., Hong, Y.D., Chen, S.K., Lin, S.J., (2007). Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of CuaNiaAlaCoaCraFeaSi alloy systems with multi-principal elements. Mater. Chem. Phys. 103, 41-46.
- [15] Yeh, J.W., (2006). Recent progress in high-entropy alloys. Ann. Chim. Sci. Mat. 31, 633-648.
- [16] Lukas, H. L. Fries, S. G. Sundman, B. (2007). Computational Thermodynamics The Calphad Method. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-86811-2
- [17] Zhang, Y., Zhou, Y.J., Lin, J.P., Chen, G.L., Liaw, P.K., (2008). Solid-solution phase formation rules for multi-component alloys. Adv. Eng. Mater. 10, 534-538.
- [18] Kaufman, L., Cohen, M., (1956). The martensitic transformation in the Fe-Ni system. Trans. AIME 206, 1393-1401.
- [19] Kaufman, L., Agren, J., (2014). CALPHAD, first and second generation - Birth of the materials genome. Scr. Mater. 70, 3-6.
- [20] Chen, H. Barman, T. (2018). Thermo-Calc and DICTRA modelling of the β -phase depletion behaviour in CoNiCrAlY coating alloys at different Al contents. Computational Materials Science, Volume 147, Pages 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2018.02.013>.
- [21] Katz-Demyanetz, A. Gorbachev, I.I. Eshed, E. Popov, V.V. Bamberger, M. (2020). High entropy Al_{0.5}CrMoNbTa_{0.5} alloy: Additive manufacturing vs. casting vs. CALPHAD approval calculations. Materials Characterization, Volume 167. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110505>.



A látássérülteket veszélyeztető körülmények vizsgálata

Examination of conditions that endanger the visually impaired

¹Kartali Gabriella

¹Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola. Budapest, Magyarország,
kartali.gabriella@uni-obuda.hu

Összefoglalás

A látássérült egyének biztonságát és társadalmi részvételét számos tényező veszélyeztetheti. Az előítéletek, a hozzáférhetőségi hiányosságok, a közlekedési problémák és a digitális területeken tapasztalható akadályok mind a látássérült személyek számára potenciálisan veszélyes körülményeket teremthetnek. Az épített környezet hiányos kialakítása, beleértve a járdák és útfelületek karbantartását, valamint a közlekedési lámpák és jelzőrendszerek megfelelő működését, növelheti a baleseti kockázatokat. Emellett a nem megfelelő tájékoztatás és a digitális platformok hozzáférhetetlensége akadályokat állít a látássérültek információhoz való hozzáférésehez. Az inkluzív nevelés és oktatás kulcsfontosságú lehet a társadalmi integráció és az elfogadás előmozdításában, csökkentve ezzel a látássérült egyénnel szembeni kockázatokat. A kutatás hangsúlyozza a társadalom szélesebb rétegeinek szerepvállalását, a környezet kialakításában és a hozzáférési lehetőségek javításában, a látássérült személyek biztonságát és életminőségét javítva.

Kulcsszavak: biztonság, látássérült, oktatás, társadalmi szerepvállalás

Abstract

The safety and social participation of visually impaired individuals can be threatened by many factors. Prejudice, accessibility gaps, transportation issues, and barriers in digital spaces can all create potentially dangerous conditions for visually impaired people. Inadequate design of the built environment, including the maintenance of sidewalks and road surfaces, as well as the proper functioning of traffic lights and signaling systems, can increase the risks of accidents. In addition, inadequate information and the inaccessibility of digital platforms create obstacles for visually impaired people to access information. Inclusive education and training can be the key to promote social integration and acceptance, thereby it would reduce the risks faced by visually impaired individuals. The research emphasizes the role of the wider layers of society in creating the environment and improving access opportunities, improving the safety and quality of life of visually impaired people.

Keywords: safety, visually impaired, education, social involvement

1. Bevezetés

Az előítéleteknek és a fogyatékosokkal kapcsolatos előzetes tudásnak és érzelmi viszonyulásnak különös szerepe van a társadalomban. Ezek a sztereotípiák és érzelmi beállítódások előrehaladottan kialakulnak anélkül, hogy az egyén valódi tapasztalatokat szerezne a fogyatékkal élőkkel való

személyes találkozások során. Ezen előzetes meggyőződések átadódnak a társas interakciók során, főleg verbális kommunikációs csatornákon keresztül, és befolyásolják a közösség tagjainak viselkedését. A fogyatékos, mint konstelláció és a fogyatékos, mint szociális ítélkezés perspektívái többnyire szorosan körül ölelik a fogyatékos egyén mindennapi cselekményeit, történeteit (mindent, ami egy nem fogyatékkal élő ember életére is jellemző). Így, – bármilyen fogyatékosról legyen szó – az életvezetéssel és az életmóddal összefüggően teljesen más jellegzetességekről beszélhetünk, mint a nem fogyatékkal élő személyek esetében. A másságérzés mindenekelőtt abból kifolyólag van jelen, hogy az élet számos terén hiányoznak a fogyatékosági helyzetet szem előtt tartó, a szükségszerű életmódhoz szükséges alternatív megoldások. Éppen ennek okán formálódnak az eltérő fizikai körülmények közösségi hendikeppé [1].

Ugyanakkor az emberi szükségletek egyik alappillére a biztonság, ami érvényes mind az egészséges, mind a látássérült személyek esetében. A látássérültek biztonságérzetét különösen befolyásolja a környezet megfelelő kialakítása. Még kis változtatások is jelentősen hozzájárulhatnak az akadálymentesített környezet kialakításához, ezzel növelve a látássérültek biztonságérzetét.

A tanulmány célja, hogy részletesen feltárja a látássérülteket veszélyeztető körülményeket, ráirányítva a figyelmet azokra a tényezőkre, amelyek megnehezíthetik és veszélyeztethetik ezen személyek mindennapi életét. A tanulmány felépítése az élet különböző területeire koncentrálni szándékozik kibontani a látássérült egyének életét befolyásoló tényezőket, és kiemelni azokat a kritikus pontokat, ahol a társadalomnak és a környezetnek aktívan kellene beavatkoznia a megfelelő támogatás és az akadálymentesítés érdekében. Továbbá célja, hogy felkeltse az olvasók figyelmét és tudatosságát, elősegítve a pozitív változásokat a látássérültek mindennapi életének javítása érdekében.

2. A látássérült fogalmi meghatározása

A látási fogyatékos, a látószerv valamely részének organikus vagy funkcionális sérülése, mely a látást részlegesen vagy teljes mértékben akadályozza. [2] Valamint okozhatja öröklődés, szülés előtti, közbeni és utána szerzett ok is. [3]

A látássérülés kiterjedése a látásmaradvány szemészeti vizsgálatai alapján ítéltető meg. [5] Azt, hogy kinek milyen mértékű a látásmaradványa, a látásélesség vagy vízus jelöli meg. [5] Ez a retina felbontóképességét jelölő mérőszám, amely a látássérülés mértékét az ép látás százalékában vagy tört mintájában határozza meg. [5] A vízus jele nagy V betű, ami után két sorban adhatók meg a két szem látásélességét mutatószámok: felül a jobb, alul a bal szemre vonatkozóan. [5]

A látóképesség megállapításakor a látásélesség mellett a látásteljesítmény definíció is használható. [6] A látásteljesítmény szélesebb definiálásra ad módot: jelöli a maradék látás kihasználásának kapacitását, amelyet irányít a személy képességeinek fejlettsége, tájékozódása és jártasságai. [6]

Ha látásról van szó, akkor mindenekelőtt a közeli és a távoli látásélességet képzelünk, de a látás minőségének más meghatározó összetevői is vannak. Ezek pedig: a perifériás látás, a színlátás, a kontrasztérzékenység és a látótér, amelyek az eltérő szembetegségek folytán másféle kiterjedésben sérülhetnek. [5] A gyengén látással élő egyének látásélessége 0,1- 0,3 között van. Az aliglátók lehetnek: nagyítógó, fénylátók és ujjlátók. Vak az, aki nem érzékeli a fényt sem. [5]

A látássérülés oka a szem egy bizonyos hányadának, illetőleg az ingerkövetítő látóidegnek a fejlődési anomáliája, betegsége, defektusa, vagy a kérgi látóközpont károsodása miatt keletkezett funkcionálási rendellenesség. [3]

A látási fogyatékos, a következő három csoportba sorolható: gyengénlátás, aliglátás és vakság. [4] Pedagógiai szempontból történő csoportosítás szerint beszélhetünk látó típusúakról, ebbe a csoportba a gyengénlátók tartoznak, akik speciális szemüveggel és eszközökkel fejlesztik

látásukat, ők síkírást használnak, látás útján olvasnak. [5] Illetve beszélhetünk tapintó típusúakról, ebbe a csoportba az aliglátók és a vakok tartoznak, ők a látásukat nem tudják használni, tapintás útján írnak és olvasnak. [5]

3. A biztonság, mint emberi szükséglet

A biztonság az emberi szükségletek egyik alappillére. [7] A szükségletek piramisát Abraham Maslow pszichológus alkotta meg. Elmélete szerint a szükségletek különböznek egymástól, és eltérnek nagyságukban is. A piramis lépcsői alulról indulnak (legfontosabb) és felfelé irányulnak. Ennek értelmében második legfontosabb emberi szükséglet a biztonság és a védettség [7].

A biztonság szüksége az egyént arra motiválja, hogy a saját (biológiai – pszichológiai – szociális) épsége biztonságban legyen. A biztonság azt is jelenti az egyén számára, hogy ismert, megszokott dolgok, környezet veszi körül, ami állandó, megszokott és épségben érzi magát [8].

A szociális biztonság két típusát különböztetjük meg, az abszolút szociális biztonságot és a relatív szociális biztonságot. Az 1993. évi szociális törvény célja a szociális jogok érvényességre segítése a kollektív szolidaritás alapján a segédkezésre szoruló javára, tevékenysége a szociális biztonság megóvása [8]. A törvény pontosan határozza meg a fogyatékkal élő egyéneket illető jogosultságokról, esélyegyenlőségi rendelkezésekről, támogatási módokról, testületekről [9].

Az ENSZ A fogyatékossgal élő személyek jogairól szóló konvenció elkészítésével megjelölte nemzetközi keretben a fogyatékkal élő személyeket érintő jogokat, melyeket a megállapodást ratifikáló államok magukra nézve kötelező érvényességűnek ismernek el [9].

Hazánk alaptörvénye a XV. Cikk ötödik és hatodik bekezdésében rendelkezik az esélyegyenlőségről és a fogyatékkal élők segítéséről és az alapvető jogok biztosításáról [9].

4. A látássérülteket veszélyeztető körülmények és fejlesztési feladatok

A látássérültek mindennapi életében számos kihívás és veszélyforrás jelentkezik, amelyekre a társadalomnak és a környezetnek hatékony válaszokat kell találnia. A látássérüléssel élő egyének integrációjával kapcsolatban egyik sarkalatos pont a tájékozódás és mozgás nehezítettsége, amelyek biztonságérzetüktől fosztják meg az érin-tetteket, hiszen a látássérültek gyakran szembesülnek az infrastruktúra hiányosságaival, amelyek gátolják mozgásukat. [10] Az utcák, járdák vagy közlekedési eszközök akadályokkal teliek lehetnek, ami megnehezíti a szabad és biztonságos közlekedést. Az infrastruktúra hiányosságain túl a bizonytalan területek is komoly akadályokat jelentenek. A látássérült egyének számára különösen veszélyes lehet, ha nem tudják előre érzékelni vagy értelmezni a környezetüket. Ezek a bizonytalan területek lehetnek olyan helyek, ahol nincsenek vagy hiányosak a számukra kialakított hangsúlyos jelzések, vagy ahol a környezeti elemek változása miatt elveszítik tájékozódásukat. [10]

A tömegben, a szokatlan vagy a megszokotthoz képest átalakult helyszíneken a látássérüléssel élő személy állandóan szorult, sőt veszélyes szituációba kerül. Előfordulhat, hogy a nem megszokott helyen levő tárgynak nekimegy, vagy a kinyitott ablak keretével, illetve üvegezett bejáróval megsebezheti magát. Ezek a helyzetek számottevő része apró óvatossággal kikerülhető. A tanulási környezet megteremtésekor figyelni kell az egyéni szükségletekre [5]. Egészen kis módosítással is sokat tehetünk az akadálymentesített környezetünkért, így növelve biztonságérzetüket. Támogató lehet a látássérültek számára az építmény, és környékének kollektív végig járása, bemutatása, kiindulópontok adása, lépcsőfoknál figyelemfelhívó felfestés. Az alig látó folyamatosan igénybe veszi többi érzékszervét - hallását, tapintását is – nemcsak a memorizálás, de a közlekedés biztonságossága miatt is. A saját épsége érdekében a vak és az alig látó egyén javasolt, hogy használjon fehér botot. [5]

A mindennapi tevékenységek elsősorban a vizualításra alapulnak. A gyengén látó, alig látó egyének emiatt lényegesen hátrányban vannak. Az ismeretszerzéshez, feladat-megoldáshoz sokkal több időre van szükségességük. Ennek okán az információszerzés és a mindennapi kommunikáció akadályozottsága is veszélyeztető, a biztonságérzetüket csökkentő körülmény számukra [5].

A látássérült személyek számára rendkívül fontos, hogy a kommunikált információ számukra is érthető legyen. Az esetleges homályos vagy pontatlan verbális kommunikáció, illetve a nem megfelelően strukturált üzenetek komoly zavart okozhatnak. Az általános kommunikációs helyzetekben, például csoportos eseményeken vagy társalgások során ez az érthetőségi hiány további társadalmi izolációt eredményezhet. Ezen kívül, a kommunikációs akadályok között szerepelnek az eszközök hiányosságai is. A látássérült emberek gyakran támaszkodnak különféle technológiai eszközökre, például hangkövetítő alkalmazásokra vagy képernyőolvasókra. Azonban, ha ezek az eszközök nem megfelelően működnek vagy nem állnak rendelkezésre, akkor a látássérült személyek számára az információhoz való hozzáférés korlátozott lehet. [5]

Továbbá az oktatásnak is számos szempontból fontos szerepe van a társadalmi beilleszkedésben és a biztonságérzet kialakításában. Azonban, a látássérültek számára a megfelelő oktatási környezet biztosítása nem mindig egyszerű, és ha ez nem valósul meg, az számos szempontból csökkentheti a látássérült egyének biztonságérzetét. A személyes differenciáláshoz kiemelt odafigyelés kívánatos a tanító részéről, de nemegyszer csak egy apró módszer megváltoztatása vagy egy eszköz is elégséges ahhoz, hogy a látássérüléssel élő tanulók észlelési hiányosságaik ellenére hasznosan vegyenek részt az oktatási folyamatban, ahol a pedagógusok rendkívül nagy támaszt nyújthatnak, akár egy már leírt táblai vázlattal, vagy a táblai vázlat elolvasásával. Az oktatási órákon lényeges segítséget jelent az auditív információhordozók használata. Az olvasást könnyítő és helyettesítő tanulási mód a magnós memorizálás. A hosszabb tananyagot felölelő, elméleti tanulást igénylő tárgyak (történelem, biológia, földrajz) diktafonra vagy már egy mo-bil telefonra felmondott anyaga az egyén önálló felkészülésének eredményes eszköze lehet. A tanár támogathatja a hallás révén történő ismeretsajátítás eredményes jellegzetes sajátosságainak, módszereinek megismerésében [9]. A középiskolai tankönyvek hang-anyagát a Vakok és Gyengénlátók Országos Szövetsége a látássérüléssel élő fiatalok számára térítésmentesen biztosítja. A gyengén látók tanításában kiemelt szempont a láthatóság, az olvashatóság megteremtése. A fiatalok a megszokott méretű iskolai információs tananyagot (tankönyvi kép, szöveg, szemléltető anyagok) nem tudják felhasználni. Nekik nagyobb méretű füzetet, ábrát kell nyújtani, és szükség esetén lehetővé tenni az egyéni szemlélődést [11].

A vak gyermekek oktatása, nevelése alatt figyelembe kell venni a lehetőségeket és igazodni kell a tanulók speciális információszerzési módszeréhez. Egyes tantárgyak tartalmát módosítani kell számukra. Építhetünk a vak diákok auditív érdeklődésére, emléke-zőképességükre. Mindezeknek a kvalitásoknak az erősítésére intenzív figyelmet kell fordítani. Alkalom van erre a tanítási órákon, de helyet nyerhet a kompenzáló technikák oktatása mellett a rehabilitációs, rehabilitációs speciális fejlesztésben is [5].

A tanuláshoz nélkülözhetetlen készségek kizárólag a tanulási folyamat közben alakulnak. Ahogy hatékony tanulási módokat sajátítanak el, tanulnak meg, általuk javul a tanuláshoz való hozzáállásuk, és az eredményekkel nő az önbizalmuk. Minél több tanulási technikát szükséges bemutatni a vak tanulóknak is, és inspiráljuk a diákokat a tanulás alatt a céltudatos önmegfigyelésre. Később a számára legoptimálisabb eszközt és eljárást fogja választani dolgai rendezéséhez. Az elégedett munkával teljesített szabadidő kilátása kon-centrálásra ösztönözi [11].

A modern haladásnak köszönhetően gyengén látó diákok részére ma már többféle speciális, modern optikai eszköz áll rendelkezésre: kézi, elemes lupék, hasábnagyítók, teleszkópok, távcsőszemüvegek, elektronikus olvasókészülékek. Az alig látók a célszerű, 15-60-szoros nagyítást lehetővé tevő optikai, elektronikai eszközök segítségével alkalmasok a síkírás-olvasás

megtanulására. Az olvasókészülék – aminek képernyőjén előtűnik a felnagyított szöveg – a közszellemben olvasótelevízió néven ismerhetjük. A nagyobb értékű segédeszközök előteremtése gyógypedagógiai és szemészorvosi javaslatra, általában az OEP finanszírozásával valósul meg. Alkalmazásukat a gyermekek a tiflopedagógus révén sajátítják el. A tanulást még több praktikus eszköz is segíti. Például: könyvtartó állvány, speciális füzet, speciális vonalzó stb. Kiemelt elvárás, hogy a látássérüléssel élő tanulók kezeljék a hasznos segédeszközöket és céltudatosan vegyenek részt környezetük részére a praktikus kifejlesztésében [12].

Több speciális pedagógiai segítséget, módszert és eszközt használnak a pedagógusok, de azok nem, vagy csak jelentős megváltoztatással alkalmasak a látássérüléssel élő egyének oktatásában, valamint egyénre szabottan szükséges használni őket. A látássérüléssel élő tanulók számára a világ megismerése a gépirás (a tízujjas vakírás) elsajátítása. A szövegszerkesztés oktatását a látássérülés folytán keletkezett zavart látás-mozgás koordináció is igazolja. A számítástechnikai ismeretek megtanulása nagyító szoftverek, kiegészítő egységek alkalmazásával folyhat – sokuk munkaválasztását, foglalkozását támogathatja majd. A látássérüléssel élő fiatalok informatikai képzésben eredményesen vesznek részt, mégpedig többen közülük kiemelkedő programozók [5].

A látásteljesítmény fokozása, a látás optimális alkalmazásának készsége megtanulható. A kötelező tanórákon kívül a diákok részére rehabilitációs, rehabilitációs tanórai foglalkozások alapozására, terápiás, felzárkóztató célú megszilárdításra van esetőség és kötelezettség. Ezekben a fejlesztéseken fókuszban áll a látásnevelés, tájékozódásra nevelés, mozgáskorrekció. Jó, ha a gyermek a beszámoltatáskor már a megváltoztatott igényekhez igazított feladatokat kapja, részére ideálisra nagyított méretben, kontrasztos utánzatban [6].

A fent leírtakból látható, hogy az oktatás hiányos hozzáférhetősége és a speciális oktatási igények figyelmen kívül hagyása, valamint a nem megfelelően kialakított oktatási környezet és a pedagógusok felkészületlensége látássérült diákok esetében további akadályokat jelenthet a biztonságérzetük és társadalmi integrációjuk szempontjából. Az inkluzív oktatási gyakorlatok és megfelelő támogatási rendszerek nélkül a látássérült diákok teljes részvételének elérése és biztonságérzetük növelése kihívást jelenthet a nevelési és oktatási intézmények számára.

5. Konklúzió

Az attitűdök, amelyek a fogyatékossgal kapcsolatos előítéletekben megnyilvánulnak, szignifikáns módon formálják a közösségek tagjainak viselkedését és gondolkodásmódját, akik lehetnek befogadók vagy elutasítók a fogyatékkal élők iránt. A látássérülteket veszélyeztető körülményeknek való kitettség súlyos társadalmi kihívást jelent, amely a látássérült egyének életminőségét, biztonságérzetét és társadalmi részvételét érinti. A hiányos hozzáférhetőség, az oktatási és közlekedési korlátok, valamint az információhiány mind olyan tényezők, amelyek hátráltatják a látássérült emberek teljes életét. Az inkluzív intézkedések és tudatos társadalmi fejlesztések elengedhetetlenek ahhoz, hogy ezeket a körülményeket mérsékeljük és lehetővé tegyük mindenki számára, hogy aktív résztvevője lehessen a társadalomnak. A látássérülteket veszélyeztető körülmények kezelése nemcsak az egyének érdekét szolgálja, hanem a társadalom egészét gazdagítja a sokszínűség és az egyenlőség jegyében.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-23-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

6. Hivatkozások

- [1] Bánfalvy, Cs. (2012). Gyógypedagógiai szociológia, ELTE Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Kar, Budapest.
- [2] Kőpatakiné Mészáros, M. (2013). Sajátos nevelési igény, https://polc.ttk.pte.hu/tamop-4.1.2.b.2-13/1-2013-0014/88/21_mellklet__i_tma.html (2023.10.10.)
- [3] Mesterházi, Zs. (2001). Gyógypedagógiai lexikon. ELTE BGGYFK, Budapest.
- [4] Kartali, G., Kelemen-Erdős, A. (2020). “Tenni vagy nem tenni?” Braille-írás a termékcsoomagoláson a gyártók szemszögéből, Vállalkozásfejlesztés a XXI. században X/2.: A környezeti változások és az új kihívások hatásai a szervezetek működésére, Budapest.
- [5] Kovács, K. (2000). Látássérült gyermekek az óvodában és az iskolában. In: Illyés Sándor (szerk.): Gyógypedagógiai alapismeretek. Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Főiskolai Kar, Budapest.
- [6] Csányi, Y. (2001). Az együttnevelés tényezői, feltételei. In: Csányi Yvonne (szerk.): Látássérült gyermekek integrált oktatása-nevelése. ELTE BGGYTF, Budapest.
- [7] Maslow, Abraham H. (1943). A Theory of Human Motivation, *Psychological Review*, 50(4), 370–396. <https://doi.org/10.1037/h0054346> (2023.10.21.)
- [8] Illyés, S. (2000). A magyar gyógypedagógia hagyományai és alapfogalmai. In: Illyés Sándor (szerk.): Gyógypedagógiai alapismeretek. Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Főiskolai Kar, Budapest.
- [9] 1993. évi III. törvény a szociális igazgatásról és szociális ellátásokról, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300003.tv> (2023.10.21.)
- [10] Könczei, Gy. (szerk) (2009). A funkcióképesség, a fogyatékoság és az egészség nemzetközi osztályozása, ELTE BGGYFK, Budapest. <http://mek.oszk.hu/09700/09756/09756.pdf> (2023.10.21.)
- [11] Gadó, M. (2004). Tudományos elméletek és gyakorlati dilemmák a látásnevelésben. In: Gordosné Szabó A. (szerk.) Gyógyító pedagógia, Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest
- [12] Kullmann, L. (2012). A modern rehabilitációs szemléletet tükröző egyéni állapotfelmérő módszer, A funkcióképesség, fogyatékoság és egészség nemzetközi osztályozása (FNO) elméleti és gyakorlati alkalmazásának tapasztalatai. A módszer alkalmazási lehetőségei a mozgássérült emberek rehabilitációjában, ELTE BGGYFK, Budapest. https://www.gurulo.hu/sites/default/files/tanulmanyok/fuzet_5_kullmann.pdf (2023.09.21.)



Anyag- és gyártástechnológiai trendek a korszerű járművek tömegoptimalizációja érdekében

Trends in materials and manufacturing technology for weight optimization of modern vehicles

¹Kertész József, ^{1,2}Dr. Kovács Tünde Anna ³

¹Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország,
kertesz.jozsef@eng.unideb.hu

²Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi- és közúti járművek Tanszék, Debrecen, Magyarország,
kertesz.jozsef@eng.unideb.hu

³Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az elmúlt évtizedben, az autópárhban hatalmas változások történtek a következő generációs autópári gyártási anyagok és eljárások terén. A múlt járművek karosszériái teljes egészében acélalapú termékekből álltak, míg a mai modern autógyártóknak át kell állni a nagy teljesítmény-tömeg arányú alumínium, magnézium és kompozit anyagok használatára. A gyökeres szemlélet váltás az elektromos járművek előtérbe kerülése miatt is szükség van, hiszen az akkumulátorok okozta többletsúlyt a karosszéria önsúlyának csökkentésével kompenzálható a leghatékonyabban. Ezen új anyagok alkalmazása új gyártási technikákat és technológiákat követelnek meg. A tanulmány elsősorban a korszerű elektromos jármű tömegoptimalizáció érdekében alkalmazott anyagok lehetőségeit és azok várható alkalmazási arányát mutatja be.

Kulcs szavak: tömegoptimalizáció, alternatív anyagok, karosszéria

Abstract

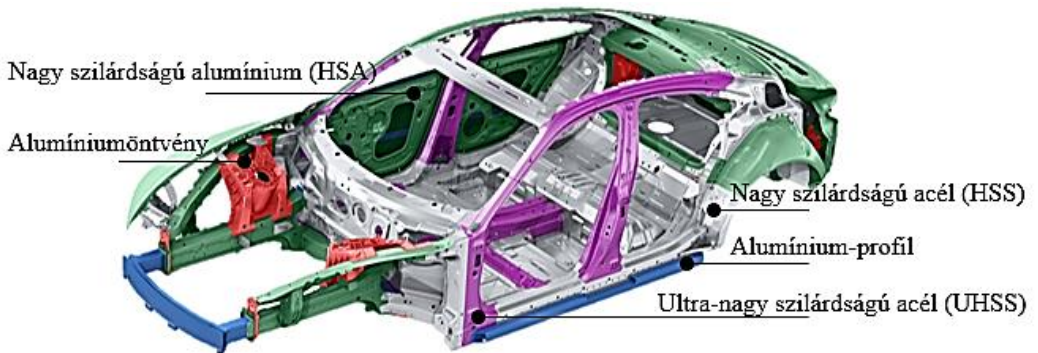
Over the past decade, the automotive industry has seen a huge shift in the next generation of automotive manufacturing materials and processes. The bodies of vehicles of the past were made entirely of steel-based products, while today's modern car manufacturers are having to switch to high-performance-to-weight ratio aluminium, magnesium and composite materials. The radical change in approach is also needed to accommodate the rise of electric vehicles, where the extra weight of batteries can be most effectively compensated for by reducing the body's own weight. The use of these new materials requires new manufacturing techniques and technologies. The study will focus on the potential and expected application of materials for weight optimization in advanced electric vehicles.

Keywords: weight-optimization, alternative materials, bodywork

1. Bevezetés

A jobb teljesítmény jellemzőkkel rendelkező új anyagok alkalmazásának számtalan ok sorolható fel, azonban elsősorban az ütközésbiztonság, a zaj és a rezgés, az összköltség és az energiahatékonyság javítása érdekében alkalmazzák a járművekben. Az energiahatékonyság mind a

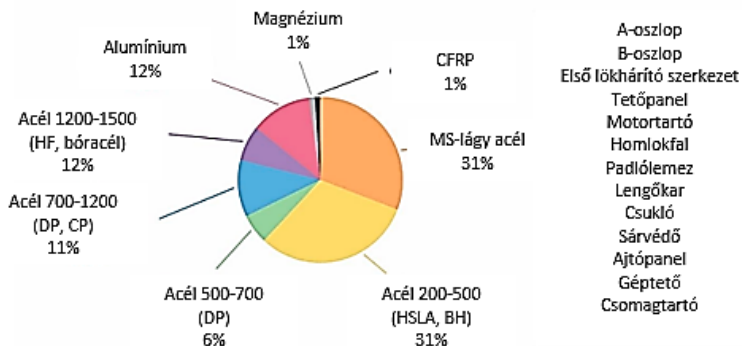
gyártás mind pedig az üzemeltetés tekintetében kiemelten fontos. Az üzemeltetéshez szükséges energiaigény és hatótáv javítására irányuló szabályozási nyomás, és magas piaci elvárás várhatóan még inkább felgyorsítja az új, a könnyűszerkezetes anyagok járművekbe történő bevezetésének és alkalmazásának ütemét. A karosszéria fejlesztések új filozófiája a „megfelelő anyag a megfelelő helyen” módszer, amely valójában azt az elvet követi, hogy kizárólag ott alkalmazzanak nagy szilárdságú anyagot, ahol annak ütközésbiztonsági szempontból valóban jelentősége van. Minden más helyen alternatívát kell keresni, amely mind súly, mind pedig költség tekintetében előnyösebb [1-3]. Az 1. ábra a külső passzív biztonsági rendszer elemeihez alkalmazott anyag típusokat mutatja.



1. ábra A passzív biztonsági rendszer elemeinél alkalmazott anyagok [4]

2. Az alkalmazott anyagok jövőbeli tendenciája

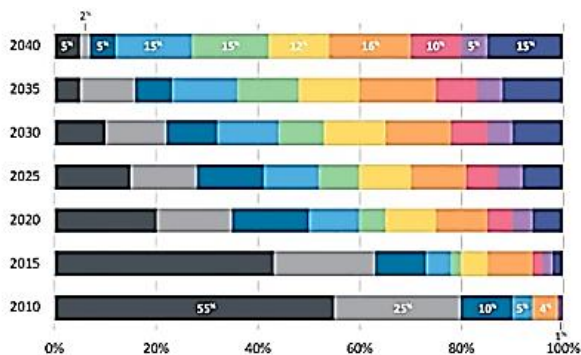
Egy anyag akkor használható járműalkatrészek gyártására, ha az kereskedelmi forgalomban kapható, a jelenlegi gyártási technológia alkalmas annak költséghatékony gyártására, alakítására és megfelel a teljesítmény követelményeknek. A járműgyártók azonban nem használhatnak fel minden, több szempontból előnyös tulajdonsággal rendelkező anyagot, mivel a mindennapi gyakorlatban felmerülő nehézségek, mint például az ellátási lánc, az infrastruktúra, a költségek, a javíthatóság, a környezetre való negatív hatása és az újrahasznosíthatósági problémák korlátokat szabnak [2][5]. A teljes jármű felépítését tekintve az alkalmazott anyagok listája meglehetősen széleskörű. A 2. ábra a ma leggyakrabban alkalmazott alapanyagokat és azok arányát mutatja a legfőbb alkatrészek tekintetében.



2. ábra Mai korszerű járművek jelenlegi anyagösszetétele 42 sorozatgyártású 14 fő alkatrésze alapján [5]

A szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére irányuló szabályozási nyomás és a teljesítmény javítására irányuló verseny a legfőbb hajtóerő a járművek anyagösszetételének megváltoztatására. Az

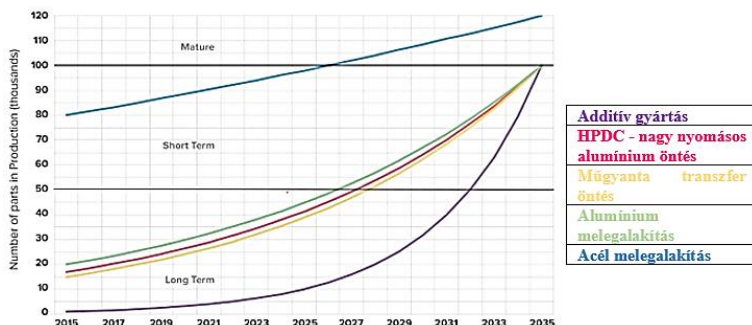
autógyártók olyan anyagokat keresnek, amelyek magasabb szilárdság/tömeg aránnyal rendelkeznek, ami lehetőséget ad az önsúly csökkentésére, miközben javítja az energia teljesítményt [6-8]. Kutatások szerint a járműpark 2025-re minimum 5%-os súlycsökkenést ér el kizárólag az alumínium nagyobb - túlnyomórészt a záróelemekben és a karosszéria-szerkezetben - mértékű felhasználásával. A belső terek szintén a könnyűszerkezetes kialakítás középpontjába kerültek a közelmúltban. A 3. ábra a járműiparban alkalmazott anyag arányainak várható változását mutatja 2010-2040 között. A tudomány résztvevői egyetértenek abban, hogy nem egyetlen anyag fog győzedelmeskedni a tömegoptimalizáció tekintetében vívott versenyben, hanem a vegyes anyagfelhasználást tekintik továbbra is a jövőnek. Ráadásul korábbi tanulmányok szerint a kompozitok és egyéb szálerősítéses anyagok hányada jelentősen növekedni fog a felhasznált anyagok körében [5]. Ez tendencia is követhető nyomon a 3. ábrán. Láthatjuk, hogy a lágyacélok alkalmazási hányada jelentősen lecsökken, helyette más alternatív anyagok veszik át a szerepét, mint pl. nagy szilárdságú alumínium, magnézium, szálerősítéses kompozitok. A diagram alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a felhasznált anyag típusok és arányai azonos dimenziók mellett jelentős súly redukciót jelenthetnek majd a jármű össztömegének tekintetében.



Lágyacél	HSLA (Nagy szilárdságú alacsony ötvözetű acél)	HSS (Nagy szilárdságú acél)	AHSS (Növelt szilárdságú acél)	UHSS (Ultra nagy szilárdságú acél)
Bóracél/Martenzit	Alu 5000/6000	HAS (Nagy szilárdságú alumínium)	Magnézium	CFRP /kompozit

3. ábra Az alkalmazott anyagok várható arányai a jövőben [5]

Ahogy azt az 1. és a 3. ábra is igazolja a járművek manapság még mindig túlnyomórészt acélszerkezetűek, némi alumínium felhasználásával. Ezen alumínium alkalmazási arányában évről évre jelentős növekmény realizálható. A manapság alkalmazott acélok mechanikai tulajdonságai széles skálán mozognak. Az alkalmazott változatok között van pl. a lágyacél ($R_m=270$ MPa) és a melegen alakított bóracél 1500 MPa szakítószilárdsággal. Az egyéb könnyűfémek, magnézium és polimer kompozitok költségeit tekintve elsősorban magasabb kategóriájú autókban kerülnek alkalmazásra melynek magyarázata a magas költség. Az uralkodó gyártási technológia ma a hidegsajtolás, de a fent említett nagyobb szilárdságú acélokat nehéz hidegen alakítani. A melegsajtolás alkalmazása egyre elterjedtebb, mivel a hő hatására nő az acél duktilitása, ami segíti az összetett formák repedésmentes kialakítását. Műanyagok és szénszál as anyagok és kompozitok esetében jelenleg a fröccsöntés és a műgyanta transzferformázás a legelterjedtebb eljárás, mint gyártási technológia, amelyet – egy későbbi fejezetben részletezett - additív gyártás kezd felváltani [9-10]. Az új gyártási technológiák is folyamatosan fejlődnek a nagyobb volumenű és költséghatékonyabb, környezetkímélőbb tömegtermelés érdekében. Ennek tendenciáját mutatja a 4. ábra. Az acélok melegalakítása jelenleg is alkalmazott gyártási módszer a nagy sorozatban gyártott alkatrészeknél, és ez a közeljövőben is várhatóan így lesz, mivel az ultranagy szilárdságú acélok iránti igény továbbra is növekedni látszik.

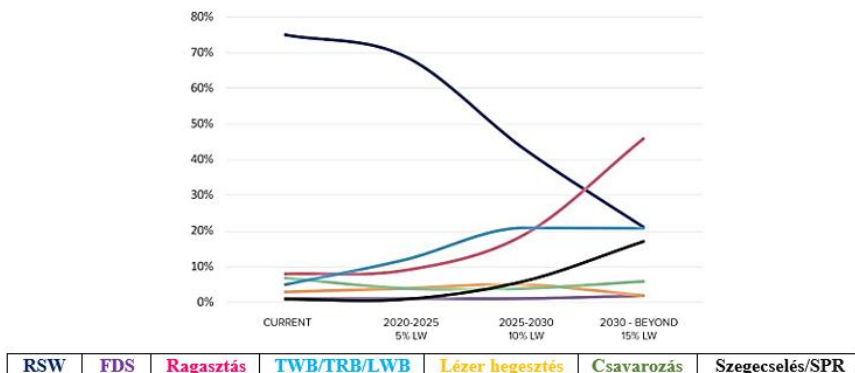


4. ábra Az additív gyártás szerepe a jövőben az acélgyártáshoz viszonyítva [5]

Egy technológia érettsége és alkalmazhatósága szubjektív fogalom, amely a gyakorlatban valójában a járműgyártás volumenétől függ. Általánosságban azonban elmondható a járműipar tekintetében, hogy egy gyártás technológia akkor tekinthető hatékonynak, ha az alkalmazható évi 100 000 darab feletti jármű volumen előállításához, továbbá többféle termékalkalmazással rendelkezik, és több beszállítótól is elérhető, globális ellátási képességgel [5].

3. Szerelhetőség és javíthatóság

Az új anyagok új kihívásokat jelentenek az összeszerelés és javítás területén is. Az eltérő anyagok összekapcsolása nem könnyű, és néha az olvadáspontbeli különbségek miatt a hagyományos ellenállásponthoz hegesztéssel azok rögzítése szinte lehetetlen. Kötéstechnológiák - például a ragasztók, a robbantásos plattírozás és a fejlett kötőelemek - fontos szerepet játszanak már most is az optimális vegyes anyagarchitektúra elérésében, mivel ezek képesek az eltérő anyagok bármilyen kombinációjának összekapcsolására. Az alkalmazott szerelési módszerekben is jelentős változás várható az új anyagkapcsolatok miatt. Ezt a változást mutatja be a 8. ábra. Az alkalmazott acél hányadának csökkenése természetesen az RSW (Resistan Spot Welding) – ellenállásos ponthegesztés csökkenését vonja maga után. A nagy szilárdságú és öntött alumíniumok, kompozitok nagyobb arányú felhasználása a ragasztás és szegecselés technológia alkalmazását követeli meg. A diagramon látható, hogy az elektromos járműgyártás árnyékában alkalmazott ragasztástechnológia jelentős növekedése várható a következő évtizedben. Az FDS (Flow-drill Screw) - fűrő csavarozás lehetővé teszi különböző anyagok nagy teljesítményű egymáshoz való rögzítését. A művelet lényege, hogy a csavart nagy fordulatszámú és előfeszítő erővel a rögzítendő elemhez szorítják, ahol a surlódás miatt az anyag lokálisan megolvad. Ahogy az anyagok felmelegednek és megpuhulnak, a rögzítő elkezd behatolni a kötegbe, és furatot hoz létre. Az anyag felfelé és lefelé extrudál a csavar pontjai mentén, és egy kiemelkedést képez. Ezt a folyamatot mutatja az 5. ábra. Mivel a hagyományos kötéstechnológiákhoz képest sokkal gyorsabb, tartósabb kötés hozható létre, ezért a hagyományos csavarozás és hegesztési megoldások egyik kiváló alternatívája. További előnye, hogy egyoldalról létrehozható a kötés, így bonyolult zárt szerelvényű szerkezetekhez is alkalmas, ahogy azt a 6. ábra is szemlélteti. Az FDS a multianyagok összeszerelésénél az össztömeg csökkenéséhez is jelentősen hozzájárulhat [11-12]. TWB (Tailor-welded Blanks) különböző vastagságú, szilárdságú és bevonatú egyedi acéllemezekből készül, amelyeket lézerhegesztéssel kötnek össze. Ennek egyik példája látható a 7. ábrán. Ez a gyártási folyamat lehetővé teszi a rugalmas alkatrésztervezést, és biztosítja, hogy a megfelelő anyagot a megfelelő helyen használják. Ennek köszönhetően egy konstrukció egységén belül, - mint pl. az ajtópanelek, oszlopok - többféle tulajdonsággal rendelkező fémek egyidejű alkalmazását teszi lehetővé. A „megfelelő anyagot a megfelelő helyen” vezérelv miatt a TWB technológia is egyre nagyobb mértékben alkalmazott technológiák egyike lesz, amely a 8. ábra diagramján is nyomon követhető.



5. ábra A járműiparban alkalmazott kötéstechológia várható irányvonala [5]

Többféle anyaggal dolgozni járműgyártási környezetben nem könnyű feladat. Az illesztés mellett a galvanikus korrózió és a hőkezelés a két fő probléma, amellyel a mérnököknek a kombinált anyagú karosszériaszervezetű járművek tervezése során szembe kell nézniük. Ezek, ahogy azt már korábban említésre került nem csak a műszaki kihívásokat jelentenek a gyártó számára, hanem az új anyagok költség és az ellátási lánc lehetséges kockázatát is figyelembe kell venni. Az olyan újabb gyártási technológiák, mint az additív gyártás, a gyanta transzfer öntés, a magasnyomásos öntés stb. még nem kiforrott eljárások. Ezeknek a technológiáknak hosszabb a ciklus idejük, valamint olyan minőségi problémákat jelenthetnek, amelyeket a tömegtermelésben való általános alkalmazáshoz meg kell oldani [5].

4. Konklúzió

A szigorú környezetvédelmi előírások és törvényi rendelkezések miatt a járműipar egy sosem látott átalakuláson megy át. Az elektrifikáció nem csak a járművek hajtáslánc fejlesztését követelik meg, hanem a karosszéria szerkezetek újragondolását is. A korszerű járművek méreteit tekintve egyre nagyobbak, sőt az SUV és crossover kategória lett a legkelendőbb járműtípus, amelyek alából nagyobb dimenziókkal rendelkeznek hagyományos változatokhoz képest. Az energiatárolás eszköze jelenleg a LiB (Lithium-ion battery) technológia. A hatótáv növelésének eszköze energiatárolás szempontjából a nagyobb kapacitású és ez által nagyobb tömegű akkumulátoroknak az alkalmazása. Ez egy belsőégésű motoros változatokhoz képest akár 500-600 kg többletet is jelenthet a jármű önsúlyát tekintve. A nagyobb dimenzió és az akkumulátorok okozta többlet súly leghatékonyabb ellentételezése a karosszéria szerkezetek tömegoptimalizációja. Azonban a fejlesztés nem koncentrálódhat kizárólag a karosszéria tömeg csökkentésére. Fontos szempont a karosszéria passzív biztonsági megfelelősége is. Az egyik eszköze a könnyűfémek és kompozitok nagyobb arányú alkalmazása és a „megfelelő anyag a megfelelő helyen” gondolkodásmódnak az alkalmazása. A végeselemes szimulációknak és a hatékony törésteszteknek köszönhetően már lehetőség van arra, hogy megállapítsuk a járművek ütközés során legjobban igénybe vett részeit és csak ott alkalmazzunk, nagy szilárdságú anyagokat, ahol ütközésbiztonsági szempontból valóban szükség van rá.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány témája a doktori kutatási tématerülethez kapcsolódik, melynek eredményességét segíti és támogatja a Kulturális és Innovációs Minisztérium, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap biztosította Új Nemzeti Kiválósági Program.

5. Hivatkozások

- [1] Hovorun, T. P., Berladir, K. V., Pererva, V. I., Rudenko, S. G., Martynov, A. I. Modern materials for automotive industry , 2017, Journal of Engineering Sciences 4(2):F8-F18 , [CrossRef]
- [2] Lipman, T. E., Maier, P. Advanced materials supply considerations for electric vehicle applications, 2022, MRS Bulletin, 1-12. [CrossRef]
- [3] Gupta, M. K., Singhal, V. Review on materials for making lightweight vehicles, 2022, Materials Today: Proceedings, 56, 868-872. [CrossRef]
- [4] Audi MediaCenter website – 2022.12.05. [Website]
- [5] Center for Automotive Research: Intelligent Mobility Technology, Materials and Manufacturing Processes, and Light Duty Vehicle Propulsion , 2017, Technology Roadmaps, pp.:13-17 [CrossRef]
- [6] Schnöll, H. P., Brunner, H., Zottler, H., Hirz, M., Ramsauer, C. CO2 Reduction Potential of CFRP-Bodywork Concepts considering Production and In-Use Phase, 2015, In Proceedings of the International Conference Management of Technology-Step to Sustainable Production, Brela. [CrossRef]
- [7] Casals, L. C., Martínez-Laserna, E., García, B. A., Nieto, N. Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction, 2016, Journal of cleaner production, 127, 425-437. [CrossRef]
- [8] Patel, M., Pardhi, B., Chopara, S., Pal, M. Lightweight composite materials for automotive- a review, 2018, Carbon, 1(2500), 151. [CrossRef]
- [9] Rudd, C. D. Resin transfer molding and structural reaction injection molding. ASM Handbook, 2001, 21, 492-500. [CrossRef]
- [10] Sønstabø, J. K., Holmstrøm, P. H., Morin, D., Langseth, M. Macroscopic strength and failure properties of flow-drill screw connections, 2015, Journal of Materials Processing Technology, 222, 1-12. [CrossRef]
- [11] Szlosarek, R., Karall, T., Enzinger, N., Hahne, C. Meyer, N. Mechanical testing of flow drill screw joints between fibre-reinforced plastics and metals, 2013, Materials Testing, 55(10), 737-742. [CrossRef]
- [12] Aslan, F., Langlois, L., Balan, T. Experimental analysis of the flow drill screw driving process, 2019, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 104(5),



Alumínium öntőszerszám élettartamának növelése megfelelő hőkezelési technológia alkalmazásával

Increasing the lifetime of aluminum casting tools by using appropriate heat treatment technology

¹Kertész Olivér Gábor, ²Dr. Tóth László

¹Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, k.oliver0917@gmail.com

²Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Kutatásunk célja egy alumínium nyomásos öntőszerszám élettartamának növelése volt, amelyet megfelelő anyagválasztással és optimális hőkezelési technológiával sikerült elérnünk. A szerszám alapanyagokat a melegalakító szerszámacélok családjából választottunk, egy hagyományosan gyártott (Böhler W302) és egy elektrosalakosan átolvasztott (Uddeholm Unimax) minőséget. Az átolvasztott anyagminőségű próbatesteken kétféle hőkezelési eljárást alkalmaztunk. A hagyományos technológiai eljárás során edzés után háromszoros magas hőmérsékletű megeresztést végeztünk. Ezután a hőkezelés optimalizálása céljából a harmadik próbatesteken az edzés és megeresztések közé beiktattunk egy mélyhűtést. A hőkezelt próbatesteket keménységmérésnek, valamint koptatóvizsgálatnak vetettük alá. A vizsgálatok igazolták a mélyhűtés és anyagválasztás pozitív hatásait. Az elektrosalakosan átolvasztott és mélyhűtött próbatestek tulajdonságai lettek a legkedvezőbbek és az így készült szerszámok élettartalma jelentősen megnövekedett.

Kulcs szavak: öntőszerszám, szerszámacél, hőkezelés, mélyhűtés, élettartam

Abstract

The goal of our research was to increase the lifetime of a die casting tool, which we managed to achieve with the right choice of materials and optimal heat treatment technology. The tool steel materials were selected from the hot working tool steel group, a conventionally (Böhler W302) and an electroslag remelted (Uddeholm Unimax) quality. On the Unimax quality we applied two kinds of heat treatment methods. During the conventional heat treatment, the quenching was followed with three times tempering. Then, in order to optimize the heat treatment, a cryogenic treatment was included between quenching and tempering of the third test specimens. The heat-treated specimens were subjected to hardness measurement and abrasion testing. The tests confirmed the positive effects of the material selection and the special cryogenic treatment. The properties of the electroslag remelted and cryogenic treated specimens became the most favorable, and the tools life produced in this way was significantly increased.

Keywords: die casting tool, tool steel, heat treatment, cryogenic treatment, lifetime.

1. Bevezetés

Munkánk során egy alumínium nyomásos öntőszerszám élettartamának növelésének lehetőségét vizsgáltuk, amely élettartam alatt azt értjük, hogy az adott szerszám hány darab méretpontos alkatrész elkészítésére képes anélkül, hogy javításra vagy cserére szorulna. Egy ilyen szerszám előállítása nagyon költséges, ezért fontos figyelembe venni a gazdaságossági szempontokat is. Ha egy szerszámot újra kell gyártani vagy javítani, akkor nem csak a szerszám helyreállítási költségeit kell figyelembe venni, hanem az esetleges kieséseket, leállásokat, esetleges kötbért.



1.ábra Az alumínium nyomásos öntőszerszám és gyártmánya

Az előzetesen felsorolt okok mind negatív hatással vannak az adott cég gazdasági helyzetére. Elsődleges feladatunk egy ilyen szerszám optimalizálásakor, hogy meghatározzuk azokat a tulajdonságokat, amikkel rendelkeznie kell. Egy ilyen öntőszerszámnak nagyon fontos, hogy jó melegszilárdsággal, szívósággal, kopásállósággal rendelkezzen, valamint a beömlő meleg olvadék által okozott hősokkokkal, abrazív kopásokkal szemben ellenálló legyen [1,2]. Ezeken kívül még nagyon fontos a szerszámunk méretstabilitása, mivel ennek hiánya selejtek gyártásához vezethet.

Az általunk vizsgált öntőszerszám egy gépkocsi főtengely szimering ház szerszáma (1. ábra). Ehhez kellett egy optimális anyagot választanunk és hőkezelési technológiát kidolgoznunk. Tanulmányunk során próbatesteken különféle hőkezeléseket végeztünk, utána keménységmérést és kopásvizsgálatot hajtottunk végre, hogy meg tudjuk állapítani az anyagminőségek és hőkezelési technológiák közül a leginkább megfelelőt [3].

2. Anyagok, eszközök

Az alábbiakban ismertetjük a választott anyagminőséget, a vizsgálatok során alkalmazott eszközöket, és a próbatesteken alkalmazott hőkezelési eljárásokat.

2.1. Anyagminőségek

A szerszámok két különböző anyagból készültek.

Az első anyagminőség a Böhler W302 [4] melegalakító szerszámacél volt, amely megfelelt az általunk prioritizált, melegszilárdság, kopás/nyomástűrés és méretstabilitás tulajdonságok paramétereinek. Ezzel ellentétben a gyakorlat során a szerszám, mind a melegszilárdság és kopástűrésnek nem tett eleget, mivel már 6.000 darab alkatrész elkészülte után melegrepedések jelentek meg, amelyek méretváltozásokhoz és selejtes gyártáshoz vezetett.

A 2. ábra a vizsgált próbatestek vegyi összetételeit ismerteti tömegszázalékban.

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
W302	0,39	1,10	0,40	5,20	1,40	0,95
UNIMAX	0,50	0,20	0,50	5,00	2,30	0,50

2.ábra Szerszámacél anyagminőségek és vegyi összetételük

A második pedig az UNIMAX [5] prémium minőségű szintén melegalakító szerszámacél volt, amely már elektrosalakos átolvasztással készült. Az UNIMAX az általunk tapasztalt melegrepedések elkerülésében kiválóan teljesített. A hagyományosan hőkezelt darabban is már lényegesen javult az élettartam, de a mélyhűtéses eljárásnak köszönhetően az élettartamot egészen 280.000 darab alkatrészig sikerült növelnünk.

2.2. Eszközök

A SPECTROMAX X szinképelemző spektrométer segítségével ellenőrizhettük az öntött alkatrész anyagminőségeink kémiai összetételét.



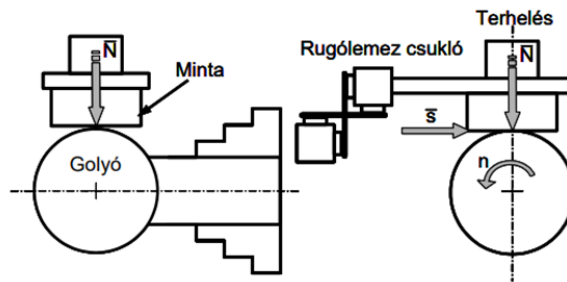
3.ábra SPECTROMAX X spektrométer

Az anyag kémiai összetétele tömeg százalékos formában:

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Egyéb	Al
8,0-11,0	1,3	2,0-4,0	0,55	0,05-0,55	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25	0,05-0,25	Marad

4. ábra Az öntött alkatrész vegyi összetétele

A kopásvizsgálatot az Óbudai Egyetemen található koptatógép segítségével végeztük (5. ábra). A kopási krátereket a szintén Óbudai Egyetem területén található fénymikroszkóppal vizsgáltuk. A kráterek paramétereit alapján összehasonlíthattuk a kopási tényezőiket.



5. ábra A koptatógép működési elve

A keménységméréseket az ERNST HARDNESS TESTER mérőberendezéssel végezhettük, amely a Rockwell statikus keménységmérési elven (EN ISO 6508) határozta meg a hőkezelések után elért keménységeket (6. ábra).



6. ábra Keménységmérő gép

4. Technológiák



7.ábra A hőkezelő kemence

A darabok hőkezelése az IU72/1F 2RV 60x60x40 10 bar CP Schmetz típusú vákuum kemencében történt (7. ábra). Az általunk alkalmazott elektromos kemence fűtése vákuumban, hűtése nitrogén gázzal és a mélyhűtése pedig porlasztott folyékony nitrogén befecskendezésével történik. Az acél hőkezelésének első ciklusa az edzés. Az edzés ausztenites hőmérsékletre való hevítésből, hőntartásból és a kritikus hűtési sebességnél gyorsabb hűtésből áll. Hevítéskor hőkiegyenlítő lépcsőt alkalmaztunk a mag és felület hőmérsékletének kiegyenlítése céljából.

Az ausztenitesetési hőmérséklet elérése után, a teljes átalakulás érdekében a W302-t 25 percen át, valamint az UNIMAX esetében 30 percen át hőntartottuk, majd edzést hajtottunk végre nitrogén gáz segítségével. Végző sorban következtek a háromszoros magas hőmérsékletű megeresztések, amelynek célja az általános feszültségcsökkentés, valamint a szívósság növelése a sferoiditos szövetszerkezet kialakulása közben.

A megeresztések esetében a hőntartási idő a hőkiegyenlítődési után 2-2 óra volt. A mélyhűtéses változatunkban (Uddeholm 3. változat) annyi az eltérés, hogy az edzés megtétele után beiktattunk egy mélyhűtéses eljárást [6,7], annak érdekében, hogy a fennmaradó ausztenit mennyiség is martenzitté alakulhasson át, ennek következtében növelve a keménységet, valamint az élettartamot. A mélyhűtés -150°C -on történt 70 percen keresztül (8. ábra).



8.ábra A végső hőkezelési diagram jellegzetes hőmérsékletekkel, valamint szétválasztott keménységekkel (kék: mozgó oldal; piros: álló oldal)

5. Mérési eredmények

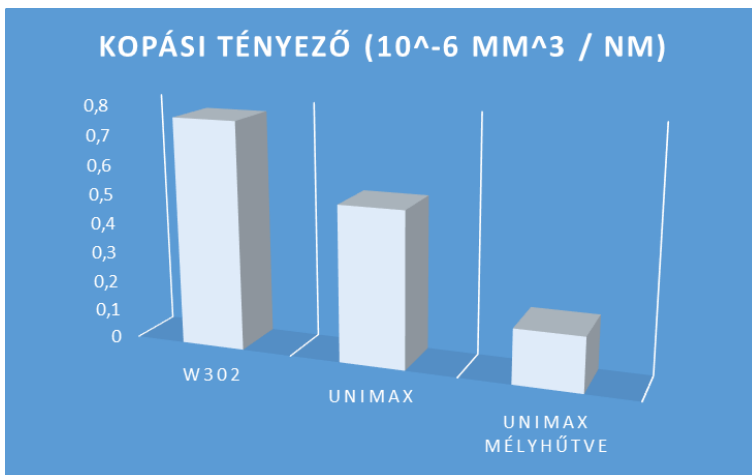
A keménységmérés átlagos eredményeit a 9. ábra szemlélteti.

Szerszám	Anyag	Keménység (HRC)
1. változat	W302	45
2. változat	UNIMAX	44
3. változat Álló rész	UNIMAX	52
3. változat Mozgó rész	UNIMAX	44

9.ábra A keménységek táblázatba foglalva

A harmadik szerszám esetében miután az igénybevételeket megvizsgáltuk az álló és mozgó részt különböző keménységre hőkezeltük. Az álló részt csupán a kopás terhelte, ezért ott magas keménységet állítottunk be, viszont a melegepedések elkerülése érdekében a mozgó oldalon a szívósság növelése érdekében az alacsonyabb keménység elérése volt a célszerű.

Kopási tényező jelentősen csökkent szerszámvariációink során. Az anyagminőség megváltoztatása 30%-kal csökkentette a kopási tényezőt, míg a mélyhűtéses technológia további 46%-kal csökkentette, ami igen jelentősnek tekinthető (10. ábra).



10.ábra A kopási tényező alakulása

6. Konklúzió

A szakirodalmak szerint egy hasonló melegalakító szerszám élettartama átlagosan 100.000 darab gyártmány, ami élettartam azt jelenti, hogy hány alkatrész elkészítésére képes az adott szerszám beavatkozás nélkül. Az elvárt eredményeinket sikerült majdnem háromszoros mértékben felülmúlnunk. Az anyagminőség változtatása nagyban befolyásolta élettartamat, a hőkezeléssel egyetemben. A kettőt összetéve összesen 46-szoros alkatrész mennyiséget sikerült legyártani az eredeti szerszámmal szembe, ami gazdaságossági szempontból igen jelentős, valamint magas termelékenységet eredményezett.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani a Titán 94 Kft.-nek a hőkezelő kemence, valamint a vizsgáló labor használatáért, valamint. A Duna Precíziós Kft.-nek a próbatestek biztosításáért és a részletes körbevezetésért és végül, de nem utolsó sorban pedig a Balog Metál Kft.-nek a gyárlátogatásért és az alumínium nyomásos öntés széleskörű megismertetéséért. Végül a legnagyobb köszönettel Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karának tartozunk, amiért lehetővé tették a tanulmány elkészültét, a berendezéseik és anyagvizsgáló gépek használatát.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Kisfaludy Antal - Dr. Réger Mihály - Tóth László: Szerkezeti anyagok I. BMF-BGK, Budapest, 1995
- [2] Czinege, Kisfaludy, Kovács, Vojnich, Verő: Anyagvizsgálat, Műszaki Könyvkiadó (BDGMF jegyzet), Budapest, 1976.
- [3] Kovács Tünde, Pinke Péter: Hőkezelt 22MnB5 acél kopásállóságának vizsgálata, Műszaki Tudományos Közlemények 3, pp 187-190, Kolozsvár, (2015)
- [4] Böhler Edelstahl GMBH: Brochure W302 Hot Work Tool Steel, (2006).
- [5] Uddeholm AB: Brochure Uddeholm UNIMAX (2015)
- [6] Patricia Jovičević-Klug, László Tóth, Bojan Podgornik, Comparison of K340 Steel Microstructure and Mechanical Properties Using Shallow and Deep Cryogenic Treatment (2022)
- [7] D. Monah Lal, S Renganarayanan, A. Kalanidhi Cyrogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels (2000)
- [8] László TÓTH, Enikő Réka FÁBIÁN, Zoltán NYIKES, Ion Aurel PERIANU, Tünde Anna KOVÁCS Effect of Surface Coatings on the Service Life of Unimax Casting Tool Steel (2022)
- [9] Drs David Schwam, John F. Wallace Improving Tool Life for Aluminium Die Casting Dies (1995)



Fém-polimer anyagpárok közötti súrlódás jellemzése különböző sebesség és felületi nyomás mellett

Characterization of friction between metal-polymer material pairs at different speeds and surface pressures

R. Kohlhéb^{1,2}, R Horváth¹, M. Réger¹

¹Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, kohlheb.robert@bgk.uni-obuda.hu

²Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Óbudai Egyetem, Budapest

Összefoglalás

A műszaki tervezéshez szükséges az anyagpárok súrlódási viszonyainak pontos ismerete. A súrlódási tényező (statikus vagy dinamikus) számos paramétertől függ a felhasznált anyagpárokon kívül (pl. a felületek érdességi paraméterei, hőmérséklet, páratartalom, felületi nyomás, stb.). Ebben a cikkben saját mérések alapján egy alumínium (Al 6082-T6) – polipropilén homopolimer felületpár súrlódási viszonyait mutatjuk be eltérő felületi terhelések (5–15 MPa) és eltérő relatív sebességkülönbségek (4–8–48–96 mm/min) alkalmazása mellett. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a statikus és a dinamikus súrlódási tényező csökken a felületi terhelés növelésével. A relatív sebesség növelésével a dinamikus súrlódási tényező növekszik, míg a statikus súrlódási tényező állandónak tekinthető.

Kulcs szavak: Súrlódás, Al 6082-T6, Polipropilén, Felületi nyomás

Abstract

Technical design requires accurate knowledge of the friction conditions of material pairs. The friction coefficient (static or dynamic) depends on many parameters in addition to the pairs of materials used (e.g. surface roughness parameters, temperature, humidity, surface pressure, etc.). In this article, based on our own measurements, we present the friction conditions of an aluminum (Al 6082-T6) - polypropylene homopolymer surface pair under the application of different surface loads (5–15 MPa) and different relative speeds (4–8–48–96 mm/min). The experimental results show that the static and dynamic friction coefficients decrease with the increase of the surface load. As the relative speed increases, the dynamic friction coefficients increases, while the static friction coefficients can be considered constant.

Keywords: Friction, Al 6082-T6, Polypropylene, Surface pressure

1. Bevezetés

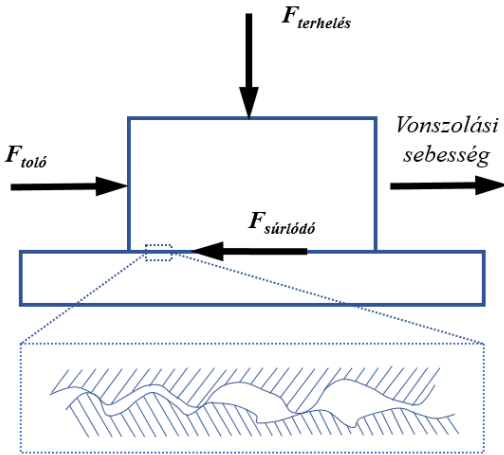
A súrlódás összetett jelenség, amely számos fizikai és működési paramétertől függ. A súrlódó felületek anyagán kívül a két felület közötti súrlódási viszonyokat nagyban befolyásolja azok felületi érdessége, mind a fémek [1] [2], mind a kerámiák [3] esetében. A súrlódó anyagpárok felületi érdességnek nagy hatása van a statikus súrlódási tényezőre [4], és a tribológiai jellemzőkre is, de a felületek érdességének orientációja sem elhanyagolható jellemző [5]. A felületi érdesség hatása általában a keménység növekedésével csökken [6]. A súrlódást a páratartalom is befolyásolja, melynek hatása igen fontos, pl.: fékek esetén [7] [8], ugyanakkor a súrlódásból adódó teljes kopási mechanizmust is befolyásolja [9]. Természetesen számos egyéb olyan paraméter van még, mely a teljes súrlódási viszonyrendszert befolyásolja (pl. környezeti hőmérséklet, relatív elmozdulási

sebesség, felületi terhelés stb.).

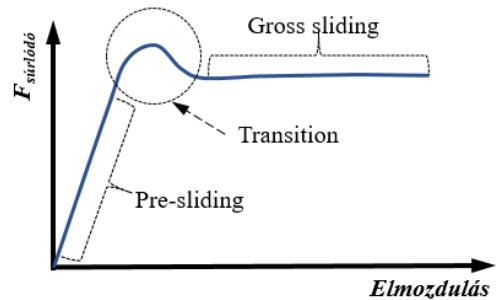
Vannak olyan műszaki feladatok, ahol a súrlódási viszonyokat pontosan szükséges ismerni, hiszen az a gép, vagy a működő alkatrészek működési tartományát határozza meg (pl. erőzáró kötések, fékek, tengelykapcsolók). Napjainkban a felhasznált anyagpárok száma intenzíven növekszik, ugyanakkor a vonatkozó szakirodalomban nem mindig található megfelelő, vagy megfelelő pontosságú súrlódási adat a választott anyagpárokra.

Az előzőekből adódóan számos súrlódással kapcsolatos megközelítés és elmélet született, melyet Pennestri és tsi. [10] munkájukban átfogóan ismertetnek.

Ha a súrlódást mechanikai rendszernek tekintjük (1. ábra), akkor a csúszási folyamat két szakaszra osztható (csúszás előtti pre sliding és a durva csúszási rendszer gross sliding szakasza). A csúszás előtti részben a tapadóerők dominálnak, így a súrlódási erő elsősorban az elmozdulás, nem pedig a sebesség függvénye (2. ábra). Ennek a viselkedésnek az lehet az oka, hogy az érintkezési csomópontok elasztó-plasztikusan deformálódnak, így nemlineáris hiszterézisrugóként viselkednek [11].



1. ábra. Általános súrlódó pár elvi elrendezés [11]



2. ábra Két súrlódási tartomány és a kettő közötti átmenet [11]

Az egymáson elmozduló anyagpárok tartós terhelhetőségének és relatív elmozdulási sebességének jellemzésére a gyakorlatban széles körben használt a $p \cdot v$ szorzat értéke, ahol a p a felületi nyomást a v pedig a relatív elmozdulási sebességet jelenti. Jellemzően két fő felhasználási területen használatos a $p \cdot v$ érték. Egyrészt a csapágyanyagok – itt ez a megnevezés csak a siklócsapágyanyagokat jelenti – területén, másrészt a súrlódó anyagok területén. A $p \cdot v$ szorzat értéke mellett szokásos feltüntetni a p és v határértékeket is. Csapágyanyagok esetén a súrlódási rendszerre jellemző, hogy üzem közben folyamatosan mozog az anyagpár két tagja egymáson, a p értéke így általában kicsi, a v értéke pedig nagy. Súrlódó anyagok esetén – mint például súrlódó tengelykapcsoló és fék anyagpárosítások – az anyagpár két tagja nem mindig mozdul el egymáson, illetve csak átmenetileg kell elviselnie a relatív elmozdulást. Ebben az esetben a p értéke jellemzően nagy és a v értéke általában kicsi. A jelen vizsgálatban egy fejlesztési feladathoz kapcsolódóan egy súrlódó anyagpár statikus és dinamikus súrlódási viszonyait kellett meghatározni különböző relatív sebesség és felületi terhelés mellett. A p és v értékeit az anyagpár tervezett használati tartományának megfelelően választottuk meg. A következő fejezetben az alumínium és polipropilén súrlódási viszonyait elemezzük négy relatív elmozdulási sebesség (4–8–48–96 mm/min) és két eltérő felületi terhelés (5–15 MPa) alkalmazása mellett.

2. Anyagok és módszerek

2.1 Vizsgálati anyagok

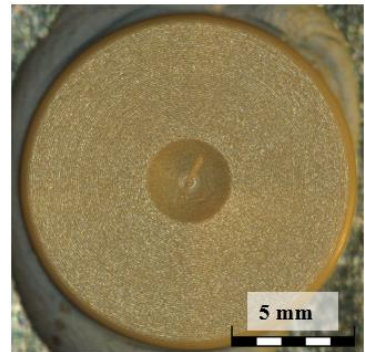
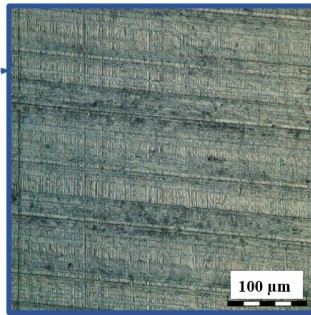
A vizsgálatokat alumínium (Al 6082-T6) és polipropilén (PP) homopolimer párokon ún. összejáratás után végeztük el. Az összejáratás a kezdeti összekopást jelenti ebben az esetben (6-10 azonos terhelésen és azonos relatív sebesség mellett) előzetes vizsgálatot. Ezáltal biztosan kialakult a két réteg egymásra hatásából adódó átmeneti réteg és az összejáratás utáni mérési eredmények vélehetően a valós körülmények közötti jellemzést adják. A minták felületi struktúráját a 3. és 4. ábra mutatja be. Az alumínium próbatestek marással a PP minták pedig esztergálással készültek. Az 1. táblázat a minták összejáratás előtti és az összejáratás utáni főbb érdesség paramétereinek átlagos értékeit [12] tartalmazza.

1. Táblázat. Alumínium próbatest és PP minta főbb érdességi paramétereit (összejáratás előtt/összejáratás után)

	Átlagos felületi érdesség R_a , μm	Egyenetlenség magasság, R_z , μm	Maximális csúcs magasság, R_p , μm	Maximális völgy mélység, R_v , μm
Alumínium próbatest	1,094/0,812	4,681/3,465	2,458/1,173	2,223/1,639
PP minta	0,812/0,487	3,465/2,454	1,773/0,981	1,693/1,473



3. ábra. Az Al 6082-T6 próbatest felületének részlete



4. ábra. PP minta felülete

A vizsgálatok az alumínium próbatest ~ 40-100 mm-es szakaszán történetek az Ø15 mm-es PP minták vonszolásával, adott relatív sebesség és adott felületi nyomás alkalmazásával. A vizsgálat során az F_{friction} erőt és a relatív elmozdulást nagy pontossággal regisztráltuk. A vizsgálati paramétereket a tervezett felhasználási igénynek megfelelően választottuk ki. Felületi nyomást a PP felületi határterhelése ($p = 5-15$ Mpa) nagyságrendjében alkalmaztunk, ez az érték a PP anyagjellemzőiből határozható meg. Az alkalmazott mérési berendezést szabadalom védi.

A statikus (μ_0) és a dinamikus (μ) súrlódási tényező értékét a következő egyenletekkel definiáltuk:

$$\mu_0 = \frac{F_{\text{súrlódás_max}}}{F_{\text{terhelés}}} \quad (1)$$

ahol, $F_{\text{súrlódás_max}}$ a regisztrált érték maximuma (itt a vonszolási sebesség lokális értéke közel zérus).

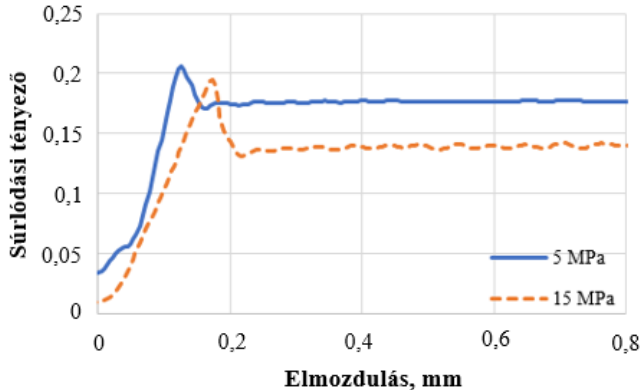
$$\mu = \frac{F_{\text{súrlódás}}}{F_{\text{terhelés}}} \quad (2)$$

ahol, $F_{\text{súrlódás}}$ a regisztrált érték közel állandósult állapota a vonszolási sebesség pedig állandó érték.

3. Eredmények

3.1 Felületi terhelés hatása a súrlódási viszonyokra

A vizsgálatokat 5 MPa és 15 MPa felületi terhelésnél végeztük el négyféle sebesség (4–8–48–96 mm/min) alkalmazása mellett. A megfigyelt jelenségek minden esetben hasonló sajátosságokat mutatnak. A 5. ábra a 8 mm/min-hez tartozó eredményeket ismerteti részletesen.



5. ábra. A regisztrált súrlódási tartományok eltérő felületi terhelés esetén ($p = 5 \text{ MPa} - 15 \text{ MPa}$; $v = 8 \text{ mm/min}$; súrlódó felületpárok: Al 6082-T6 – polipropilén homopolimer)

Az 5. ábra alapján kijelenthető, hogy az eltérő felületi terhelés hatására a pre-sliding és a gross sliding tartomány közel azonosan jelleggel alakul, de a μ_0 és a μ értéke függ a felületi terheléstől. A felületi terhelés növelésével a statikus és a dinamikus súrlódási együttható is csökken.

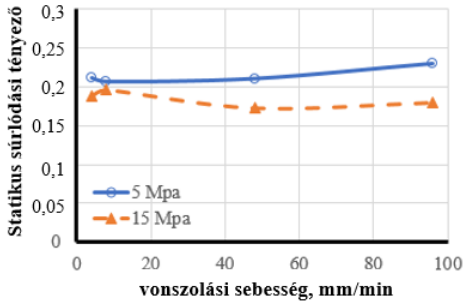
Megfigyelhető még, hogy a mérőeszköz és a súrlódópárok adott eredő rugalmassági együtthatója miatt a nagyobb terhelésnél, a pre-sliding tartományban az erő (itt átszámítva súrlódási együttható) felfutása kevésbé meredek. A mérési rendszert a mérések előtt előzetesen kalibráltuk.

3.2 A relatív sebességkülönbség hatása a súrlódási viszonyokra

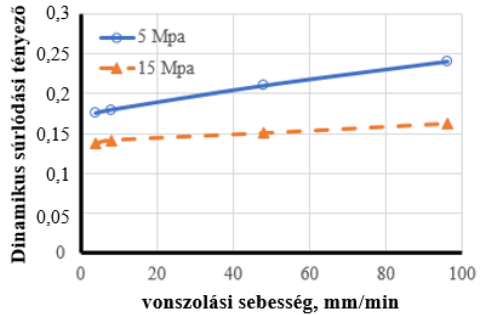
A mérési sorozat a felületi terhelés mellett a felületek közötti relatív sebességkülönbség súrlódási jellemzőkre gyakorolt hatásának felmérésére irányult. A vizsgálati eredményeket a 2. táblázat tartalmazza. A statikus és dinamikus súrlódási tényező terhelés és sebességkülönbség függése a 6. és 7. ábra diagramjai alapján ítéltető meg.

2. táblázat Alumínium próbatest és PP minta statikus (μ_0) és dinamikus (μ) súrlódási tényezőjének értékei eltérő felületi terhelés és sebesség mellett

Vonzolási sebesség, mm/min	Felületi terhelés, 5 MPa		Felületi terhelés, 15 MPa	
	μ_0	μ	μ_0	μ
4 mm/min	0,211	0,176	0,188	0,138
8 mm/min	0,206	0,18	0,196	0,142
48 mm/min	0,21	0,21	0,173	0,151
96 mm/min	0,23	0,24	0,18	0,163



6. ábra Statikus súrlódási tényező értékei (felületi terhelés 5 MPa és 15 MPa; traction speed 4–8–48–96 mm/min; súrlódó felülepárok: Al 6082-T6 – polipropilén homopolimer)



7. ábra Dinamikus súrlódási tényező értékei (felületi terhelés 5 MPa és 15 MPa; traction speed 4–8–48–96 mm/min; súrlódó felülepárok: Al 6082-T6 – polipropilén homopolimer)

A 6. és 7. ábra alapján egyértelmű, hogy – a vizsgált anyagpár esetén és az alkalmazott vizsgálati paraméter tartományon belül – a felületi terhelés növelése mind a statikus, mind a dinamikus súrlódási tényezőt csökkenti, függetlenül a relatív elmozdulási sebességkülönbség értékétől. A relatív elmozdulási sebességkülönbség változtatása a statikus súrlódási tényezőre nincs szignifikáns hatással, annak értéke első közelítésben állandónak tekinthető a vizsgálat tartományban ($\mu_0 = 0,214 \pm 0,1$, $p = 5$ MPa esetén; $\mu_0 = 0,184 \pm 0,1$ $p = 15$ MPa esetén). A statikus súrlódási tényezővel szemben a dinamikus súrlódási tényező függ a relatív sebességkülönbségtől, a sebességkülönbség növekedése növeli a dinamikus súrlódási tényezőt a vizsgált paraméter tartományban.

4. Összefoglalás

A tanulmányban egy, a műszaki gyakorlatban gyakran alkalmazott anyagpár (alumínium, Al 6082-T6 – polipropilén homopolimer) súrlódási viszonyait vizsgáltuk. A statikus és a dinamikus súrlódási tényező számos paramétértől függ. Ebben a munkában a súrlódási viszonyokat két felületi terhelés (5–15 MPa) mellett 4–96 mm/min relatív elmozdulási sebességkülönbség tartományban elemeztük. A vizsgálatokból levonható következtetések a következők:

- mind a statikus, mind a dinamikus súrlódási tényező csökken a felületi terhelés növelésével;
- a statikus súrlódási tényező állandónak tekinthető a vizsgált sebesség tartományban, ($\mu_0 = 0,214 \pm 0,1$, $p = 5$ MPa esetén; $\mu_0 = 0,184 \pm 0,1$ $p = 15$ MPa esetén);
- a felületi terhelés 5 MPa-ról 15 MPa-ra történő növekedése a statikus súrlódási tényezőt ~14%-al csökkentette;
- a dinamikus súrlódási tényező a relatív sebesség növelésével növekszik. A növekedés meredeksége a felületi terhelés növelésével csökken.

Köszönetnyilvánítás

Támogatta a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-3 Új Nemzeti Kiválósági Programja a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap forrásából.

Ezt a kutatást a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00129 projekt finanszírozta. A szerzők köszönik a magyar-japán kétoldalú projekt (2019-2.1.11-TÉT-2020-00204) anyagi támogatását.

5. Hivatkozások

- [1] [Ra_1970_Tsukizoe_and_Hisakado] Tsukizoe, T., & Hisakado, T. (1970). The influence of surface roughness on the mechanism of friction.
- [2] [Ra_2021_Bachchhav_and_Bagchi] Bachchhav, B., & Bagchi, H. (2021). Effect of surface roughness on friction and lubrication regimes. *Materials Today: Proceedings*, 38, 169-173. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.252>
- [3] [Ra_2019_Zhang_et_al] Zhang, W., Yamashita, S., Kumazawa, T., Ozeki, F., Hyuga, H., & Kita, H. (2019). Influence of surface roughness parameters and surface morphology on friction performance of ceramics. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 127(11), 837-842. <http://doi.org/10.2109/jcersj2.19124>
- [4] [Ra_1974_Ghabrial_and_Zaghlool] Ghabrial, S. R., & Zaghlool, S. A. (1974). The effect of surface roughness on static friction. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 14(4), 299-309. [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(74\)90019-5](https://doi.org/10.1016/0020-7357(74)90019-5)
- [5] [Ra_1989_Jeng] Jeng, Y. R. (1990). Experimental study of the effects of surface roughness on friction. *Tribology Transactions*, 33(3), 402-410. <https://doi.org/10.1080/10402009008981970>
- [6] [Menezes] Menezes, P. L., Kishore, Kailas, S. V., & Lovell, M. R. (2011). Role of surface texture, roughness, and hardness on friction during unidirectional sliding. *Tribology letters*, 41, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11249-010-9676-3>
- [7] [Humidity_2013_Lee_et_al] Lee, W. K., Shin, M. W., Kim, S. H., Jang, H., & Cho, M. H. (2013). The influence of humidity on the sliding friction of brake friction material. *Wear*, 302(1-2), 1397-1403. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2013.01.014>
- [8] [Humidity_2017_Mirzababaei_and_Filip] Mirzababaei, S., & Filip, P. (2017). Impact of humidity on wear of automotive friction materials. *Wear*, 376, 717-726. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2017.02.020>
- [9] [Humidity_2018_Chen_et_al.] Chen, Z., He, X., Xiao, C., & Kim, S. H. (2018). Effect of humidity on friction and wear—A critical review. *Lubricants*, 6(3), 74. <https://doi.org/10.3390/lubricants6030074>
- [10] [2016_Pennestrì_et_al] Pennestrì, E., Rossi, V., Salvini, P., & Valentini, P. P. (2016). Review and comparison of dry friction force models. *Nonlinear dynamics*, 83, 1785-1801. <https://doi.org/10.1007/s11071-015-2485-3>
- [11] [2010_Al_Bender] Al-Bender, F. (2010). Fundamentals of friction modeling. In *Proceedings, ASPE Spring Topical Meeting on Control of Precision Systems*, MIT, April 11-13, 2010 (Vol. 48, pp. 117-122). ASPE-The American Society of precision Engineering; 301 Glenwood Avenue, Suite 205, Raleigh, NC 27603, PO Box 10826, Raleigh, NC 27605.
- [12] [Gadalmwala_2002] Gadalmawla, E. S., Koura, M. M., Maksoud, T. M., Elewa, I. M., & Soliman, H. H. (2002). Roughness parameters. *Journal of materials processing Technology*, 123(1), 133-145. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00060-2)



Hengerelt acéllemezen történő akusztikus emissziós vizsgálat mozgó mechanizmussal

Acoustic emission testing on rolled steel sheet with a moving mechanism

¹Koroknai László, ²Dr. Kuzsella László, ³Dr. Pór Gábor

¹Miskolci Egyetem, Miskolc, Magyarország, korok.laci16@gmail.com

²Miskolci Egyetem, Miskolc, Magyarország, kuzsella@uni-miskolc.hu

³Dunaújvárosi Egyetem, Dunaújváros, Magyarország, porg@uniduna.hu

Összefoglalás

Az akusztikus emisszió mérése során különböző hangjelenségeket észlelünk és elemzünk, lehetővé téve a hibák előrejelzését. Ezen módszer alkalmazásával az anizotrópia vizsgálatára kerül sor, ami a hanghullámok terjedési irányában bekövetkező változásokat mutatja. Az anizotrópia segíti a feszültségirányok azonosítását és a szerkezeti hibák orientációjának meghatározását. A megfelelő anizotrópia meghatározásához kifejlesztettünk egy mechanizmust, amely a szenzorokat a megfelelő pozícióba helyezi, ezáltal optimalizálva a manuális mérési technikát.

Kulcs szavak: akusztikus emisszió, anizotrópia, fejlesztés

Abstract

During acoustic emission measurements, various sound phenomena are detected and analyzed, allowing for the prediction of potential faults. This method involves examining anisotropy, illustrating changes in the propagation direction of sound waves. Anisotropy aids in identifying stress directions or determining the orientation of structural defects. To determine the appropriate anisotropy, a mechanism has been developed to position the sensors correctly, thereby improving manual measurement techniques.

Keywords: acoustic emission, anisotropy, development

1. Akusztikus Emisszió és Anizotrópia

Az anizotrópia az akusztikus emissziós anyagvizsgálat során a hanghullámok terjedési irányában bekövetkező változásokat jelenti. Amikor egy anyag vagy szerkezet anizotróp, az azt jelenti, hogy a hanghullámok terjedése nem azonos minden irányban, hanem függ az iránytól. Az anizotrópia lehetőséget ad arra, hogy az anyagok belső szerkezetét és tulajdonságait részletesebben tanulmányozzák.

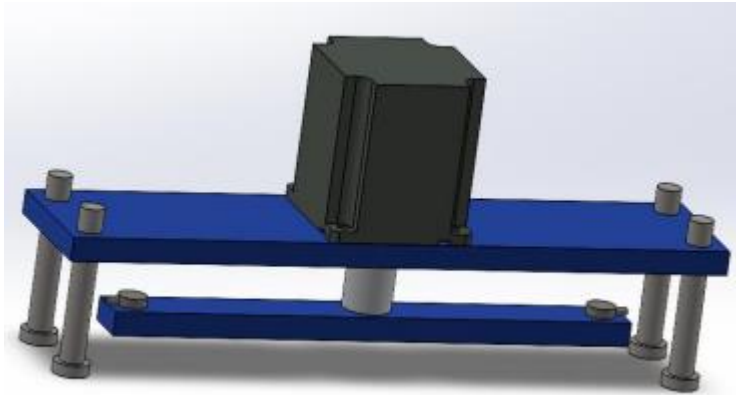
Az akusztikus emissziós vizsgálat során az anizotrópia megnyilvánulhat abban, hogy a hanghullámok különböző sebességgel terjednek az anyagban különböző irányokban. Ez lehetőséget nyújt a szakembereknek arra, hogy az emissziós jeleket és az azokból nyert információkat

felhasználják az anyagok szerkezetének és állapotának részletesebb értékelésére.

Az anizotrópia fontos szerepet játszhat például a feszültségirányok azonosításában vagy a szerkezeti hibák orientációjának meghatározásában. Az anizotrópia jelenségei befolyásolhatják a hanghullámok terjedését és tükröződését az anyagokban, így az anizotrópia figyelembevétele növelheti az akusztikus emissziós vizsgálatok pontosságát és informativitását.

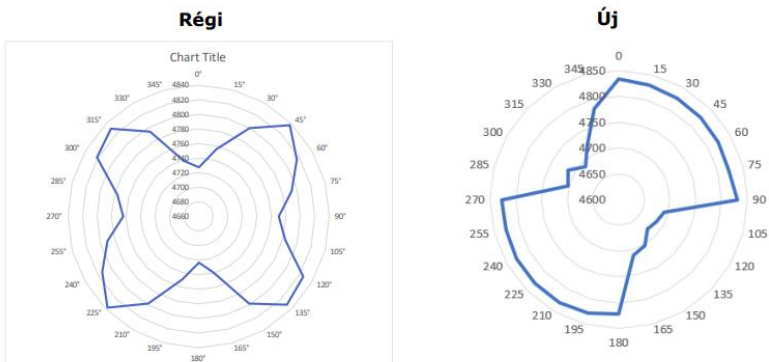
2. Új mérési technológia

Az akusztikus emisszió vizsgálat továbbfejlesztésére irányuló célkitűzés érdekében egy léptető motorral vezérelhető eszközt terveztünk. Az eszköz alkatrészeit 3D nyomtatással készítettük el, felhasználva PLA filamentet, amelynek töltöttsége 100%. A 3D nyomtatás során alkalmazott polilaktid alapú műanyag segít csökkenteni a motor által keltett zajszintet, ami potenciálisan befolyásolhatná a mérési eredmények pontosságát.



1. ábra: Új berendezés

Az 1. ábrán jól látható, hogy a méréshez két szenzort alkalmaztunk. Az egyik szenzor a forrás, amely 20 kHz feletti hanghullámokat vezet be az anyagba. A másik szenzor szerepe a detektálás, amely érzékeli az adó által kibocsátott impulzust. A két szenzor közötti távolság 200 mm.



2. ábra: Mérési eredmények összehasonlítása

A 2. ábrán szereplő mérési eredmények alapján megfigyelhető, hogy a terjedési sebességek közötti különbség szignifikáns eltérést mutat a manuálisan végzett korábbi méréshez képest. Ennek az eltérésnek az oka az, hogy az új berendezés teljesen eliminálja az emberi kéz által okozott szenzor elhelyezési bizonytalanságot. A két szenzor fix távolságra van egymástól, és a léptető motor mozgatja a CNC vezérlés által század pontosan beállított szöghelyzeteket a szenzorok számára. Ennek köszönhetően az anizotrópia ábrázolásában is radikális változás következik be.

Az új mérési módszer lehetővé teszi a keletkező hiba irányának pontosabb meghatározását a választott hidegen hengerelt acéllemezen. Emellett a maradó feszültség is precízebben meghatározható. Az új berendezés által biztosított megbízható eredmények lehetővé teszik a mérési pontosság növelését és a materiális tulajdonságok mélyebb megértését. Ennek révén további optimalizációs lehetőségek nyílnak meg a vizsgált anyagok tervezése és fejlesztése terén.

3. Konklúzió

Az újonnan kifejlesztett akusztikus emisszió vizsgálati berendezés forradalmian új módszert kínál a terjedési sebességek pontosabb mérésére. Az általa generált eredmények összehasonlítása a korábbi manuális méréssel szembevető különbségeket mutat, amelyek az emberi kéz által okozott szenzor elhelyezési bizonytalanság teljes kiküszöböléséből erednek.

A berendezés által biztosított század pontos szöghelyzet beállítások és a fix távolság a két szenzor között szilárd alapot teremt a terjedési sebességek és az anizotrópia pontosabb meghatározásához. A keletkező hiba irányának precízebb azonosítása mellett a maradó feszültség is megbízhatóan meghatározható, nyitva hagyva a kaput további optimalizációs lehetőségek felé.

Ezen eredmények alapján az új berendezés nemcsak a mérési pontosság növeléséhez járul hozzá, hanem a vizsgált anyagok alaposabb megértését teszi lehetővé. Ennek következtében a materiális tulajdonságok finomhangolása és optimalizálása terén új horizontok nyílnak meg, elősegítve a tervezés és fejlesztés terén történő további előrelépéseket.

Köszönetnyilvánítás (Köszönetnyilvánítás címsor)

Köszönet a Dunaújvárosi Egyetem Magyar Akusztikus Ipari és Diagnosztikai Laboratóriumának támogatásáért.

4. Hivatkozások

- [1] P. Palanichami, A. Joseph, T. Jayakumar and Baldev Raj (1995). Ultrasonic velocity measurements for estimation of grain size in austenitic stainless steel. *NDT&E International*, Vol. 28. No. 3, pp. 179-185.
- [2] C. J. Yu, J. C. Conway, Jr. J. Hirsch, C. O. Ruud, K. J. Kozaczek (1993). Application of Nondestructive Techniques for the Prediction of Elastic Anisotropy of a Textured Polycrystalline Material, *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol. 12, No. 1, pp. 79-95.



Színlátás vizsgálati eredmények kiértékelése fuzzy következtetési rendszer alkalmazásával

Evaluation of color vision test results using a fuzzy inference system

¹Langer Ingrid

¹Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, langer.ingrid@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A színtévesztés viszonylag gyakran előforduló rendellenesség, ami főleg a férfiakat érinti. Foglalkozás-egészségügyi szempontból a színtévesztőket közel száz szakma esetén alkalmatlannak minősítik. Az alkalmasság elbírálásánál a színtévesztés típusát és súlyosságát nem minden esetben képes megítélni a vizsgálatot végző orvos, mert a pontos diagnózis felállítására jelenleg legalkalmasabb műszer az ún. anomaloszkóp drága, ezért viszonylag kevés helyen áll rendelkezésre. Célunk egy már meglévő olcsó, gyors és egyszerű vizsgálati módszerhez olyan kiértékelési mód kidolgozása a fuzzy következtetési rendszer alkalmazásával, ami az anomaloszkóphoz hasonlóan számszerűsíteni képes a színtévesztés mértékét típus és súlyosság tekintetében.

Kulcsszavak: foglalkozás-egészségügy, színtévesztés, színlátás vizsgálat, fuzzy következtetési rendszer

Abstract

Defective color vision is a relatively common disorder that mainly affects men. Occupationally, people with color blindness are classified as unsuitable for nearly 100 occupations. In assessing suitability, the type and severity of color deficiency cannot always be judged by the examining doctor, because the most appropriate instrument for making an accurate diagnosis at present, the anomaloscope, is expensive and therefore relatively few available. Our aim is to develop an evaluation method for an existing cheap, quick and simple examination method using a fuzzy inference system that can quantify the degree of color deficiency in terms of type and severity, similar to the anomaloscope.

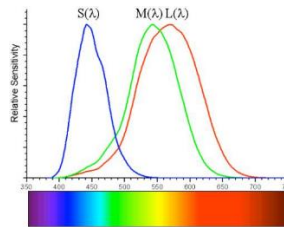
Keywords: occupational health, color deficiency, color vision testing, fuzzy inference system

1. Színes látás, színtévesztés

1.1 A színes látás

A fény érzékelése az emberi szemben a retinán elhelyezkedő receptorokkal, csapokkal és pálcikákkal történik. Nappali fényben a színes látást a csapok teszik lehetővé, melyeknek három típusa létezik: a látható fény hosszú hullámú tartományára, a vörös színekre érzékeny protos (L), a közepes hullámhosszú tartományra, a zöld színekre érzékeny deuterops (M) és a rövid hullámú

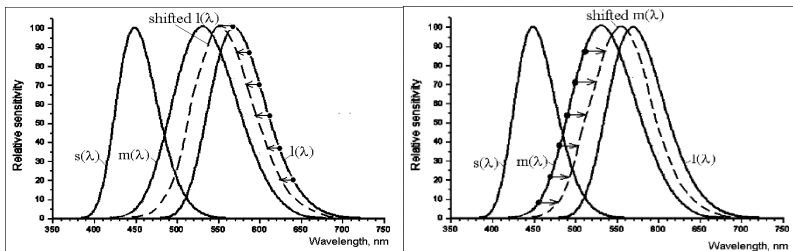
tartományra, a kék színekre érzékeny tritos (S). Normál színlátó szem esetén e három csaptípus spektrális érzékenységi görbéje az 1. ábrán látható. Egy, a retinára jutó adott színű inger a háromfajta csapban az érzékenységi görbéjüknek megfelelően különböző ingerületeket vált ki, mely hatására az agyban létrejön a színérzékellet. A receptorokat ért különböző arányú ingerek hatására az emberi szem közel 4 millió színárnyalat megkülönböztetésére képes.



1. ábra Ép színlátók L, M, S receptorainak érzékenységi görbéi

1.2 A szintévesztés

A szintévesztés oka a receptorok spektrális érzékenységi görbéjének a normálistól való eltérése. Ez az eltérés vagy a protos (L) érzékenységi görbéjének a rövidebb hullámhosszú tartomány felé (protanomália), vagy a deuterus (M) érzékenységi görbéjének hosszabb hullámhosszú tartomány felé tolódását jelenti.



2. ábra Szintévesztők L, M, S receptorainak érzékenységi görbéinek eltérése a normálistól (szaggatott vonal)

Mindkét esetben a kétfajta receptor érzékenységi görbéje közelebb kerül egymáshoz, ezáltal bizonyos színárnyalatok megkülönböztetése (színdiszkrimináció) nehezebbé válik. Míg az ép színlátók akár több millió színárnyalatot is képesek megkülönböztetni, addig a súlyos szintévesztők csak néhány százat. [1] [2]

2. Színlátás vizsgálati módszerek

A szintévesztés nehezen mérhető tulajdonság, mivel a színlátás pszichofizikai jellemző. Kialakulása az emberi szem érzékelésével kezdődik, és bonyolult idegrendszeri feldolgozás után az agyban kialakult észleletként fejeződik be. A szintévesztés mérésére csaknem száz mérési módszer ismeretes. Ezek közül a leggyakoribbak az ún. pseudoizokromatikus tesztek (Ishihara teszt, Colorlite Atlasz, Velhagen teszt). A legpontosabbnak tartott módszer az anomaloszkópos vizsgálat.

2.1 Ishihara teszt

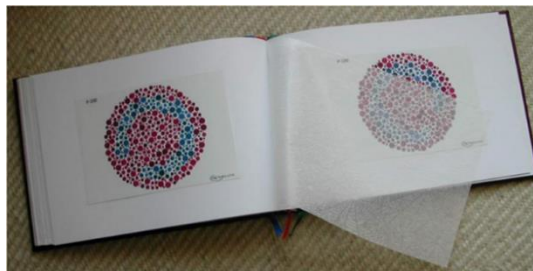
Az Ishihara tesztrel gyakorlatilag mindenki találkozott élete során, ez a szintévesztés mérésére a legelterjedtebb módszer. A teszt alapján nagy biztonsággal megállapítható, hogy valaki szintévesztő vagy nem, de a szintévesztés típusára és súlyosságára nem ad információt. A teszt ábráin különböző festékekből gondosan kikevert színekkel nyomtatott ábrák láthatók. Az ábrák pöttyökből kirakott számai eltérő színűek, mint a háttér pöttyei. Jó színlátók könnyedén felismerik a számokat, de a szintévesztők vagy egyáltalán nem, vagy más számoknak látják ezeket [3]. Ha a vizsgált személy minden ábrát felismer, vagy legfeljebb egyet téveszt el, akkor normál színlátónak tekinthető.



3. ábra Az Ishihara teszt ábrái [3]

2.2 Colorlite Atlasz

A Colorlite teszt [4] [5] [6] előnye, hogy olyan egyszerű és olyan olcsó, mint az Ishihara teszt, ugyanakkor képes a szintévesztés típusának és súlyosságának diagnosztizálására, mint az anomaloszkóp. A teszt-ábrákon az Ishihara teszthez hasonló pöttyös ábrák láthatók, de számok helyett Landolt-C ábrákat kell felismerni. Az ábrák nehézség szerint vannak sorba rendezve. A sor első ábrája a legkönnyebb, utána fokozatosan egyre nehezebb ábrák következnek. A vizsgált személynek három sorozatot kell megnézni, mindegyiken más színű a háttér, és más színűek az ábrák. Az R-G sorozaton a Landolt-C vörös, a háttér zöld pöttyökből áll. Ez a sorozat azt mutatja ki, hogy milyen súlyos a szintévesztés. A P sorozat a protos, a D sorozat a deuterus hibáját mutatja ki. A mérés eredménye az első eltévesztett ábra mellé írt szám, amely a Landolt-C és a háttér átlagos színének különbségét jelenti. A Colorlite teszt R-G sorozatának alapján megkülönböztethetünk súlyos, közepes és enyhe szintévesztőket.



4. ábra Colorlite Atlasz [2]

2.3 Anomaloszkóp

A legelismertebb színlátás vizsgáló műszer az anomaloszkóp. Számszerű mérési eredményt ad, a szintévesztés típusa (protanomália vagy deuteranomália) és súlyossága is megállapítható vele. Az anomaloszkóp a DIN 6160 szabványnak megfelelően három monokromatikus mérő-fény, egy 662 nm-es vörös, egy 549 nm-es zöld és egy 589 nm-es narancssárga fény segítségével vizsgálja meg a

színlátást. Egy kettéosztott látómező egyik oldalán a vörös és a zöld szín keveréke, másik oldalán a narancssárga fény látható. A vizsgált személynek be kell állítani a vörös és a zöld keverési arányát (R/G), és a narancssárga fény intenzitását (Y) úgy, hogy a látómező két oldalát azonos színűnek lássa. A beállított értékek jelentik a mérés eredményét. A normál színlátók R/G=45 +/- 5 osztást és Y=15 +/- 4 osztást állítanak be rajta. A beállított R/G arányból számítható az ún. anomál kvóciens (AQ), ami a színlátást jellemző mérőszám.

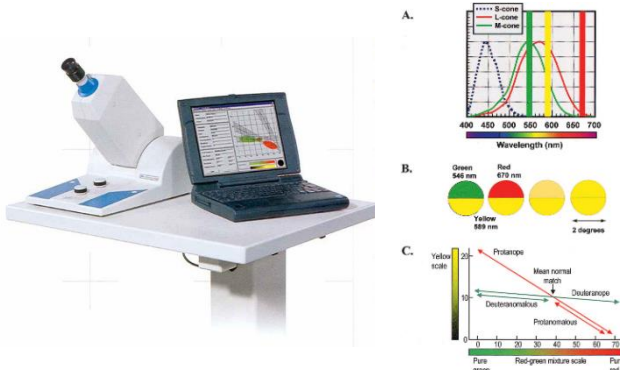
$$AQ = \frac{\frac{E-P}{P}}{\frac{E-M}{M}} \quad \begin{array}{l} E - \text{ az R/G arány maximális értéke} \\ P - \text{ az R/G arány beállított értéke} \\ M - \text{ az R/G arány normál értéke} \end{array} \quad (1)$$

AQ<0,7 protanomália

0,7≤AQ≤1,4 normál színlátás

AQ>1,4 deuteranomália

Az anomaloszkóp hátránya, hogy drága műszer, viszonylag kevés helyen elérhető. A vizsgálat kellő tapasztalatot igényel, ennek hiányában könnyen téves diagnózis adódik.



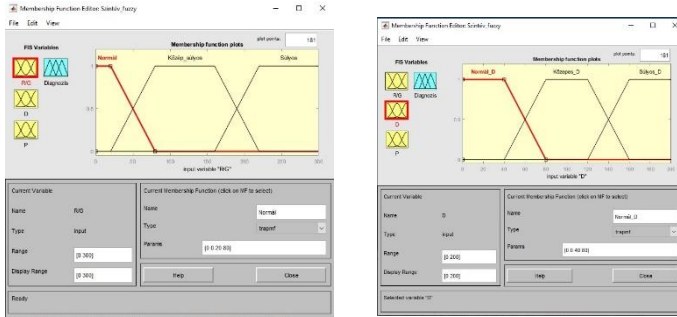
5. ábra Az anomaloszkóp

3. A Colorlite Atlasz mérési eredményeinek kiértékelése fuzzy következtetési rendszerrel

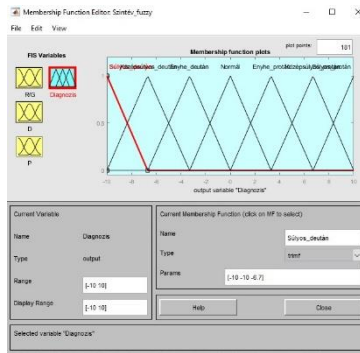
A Corlite Atlasszal kapott diagnózis jól korrelál az anomaloszkóp mérési eredményeivel [7]. A foglalkozás-egészségügyben az alkalmasság megítélésénél sokszor az anomaloszkópos vizsgálat eredménye alapján döntenek. Ha sikerül a Colorlite Atlasz mérési eredményeire olyan kiértékelési módszer létrehozása, amely eredménye megfeleltethető az anomaloszkópos mérés anomál kvóciens (AQ) értékének, akkor a bonyolult és drága műszerrel végzett vizsgálat kiváltható lenne egy egyszerű és gyors vizsgálati módszerrel. Ezt a célt a fuzzy következtetési rendszer alkalmazásával próbáljuk elérni.

3.1 A fuzzy modell megalkotása

A modellt Matlab Fuzzy Logic Designer segítségével dolgoztuk ki. A fuzzy modell megalkotásánál a Mamdani módszert alkalmaztuk. Három bemenete a Colorlite Atlasz három sorozatán (R-G, P és D) elért eredmények 3 kategóriába (súlyos, enyhe, normál) sorolva. Kimenete a szintévesztés diagnózisa -10...10-ig terjedő skálán, ahol -10 a deuteranomália, 10 a protanomália szélső értékét jelenti. Itt 7 tagsági függvényt használtunk, (súlyos, közepsúlyos és enyhe deuteranomál, normál, enyhe, közepsúlyos és súlyos protanomál).



6. ábra Az R-G sorozat (balra) és a D sorozat (jobbra) tagsági függvényei (a P tagsági függvényei a D-vel megegyeznek)



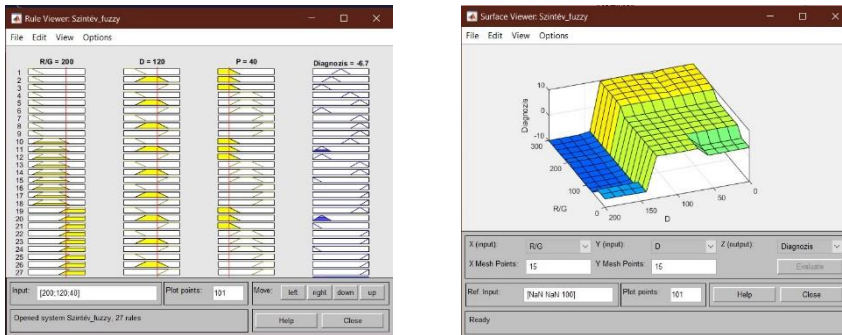
7. ábra A kimenet (diagnózis) tagsági függvényei

A szabályrendszer felállításánál szintévesztők mérési adatait használtuk fel. Ezt az alábbi táblázatban lázható:

1. táblázat A fuzzy kiértékelés szabályrendszere

	RG normál			RG közepsúlyos			RG súlyos		
	D normál	D közép	D súlyos	D normál	D közép	D súlyos	D normál	D közép	D súlyos
P normál	N	ED	KD	EP	KD	KD	KP	KD	SD
P közép	EP	KP	KD	KP	KP	SD	SP	SP	SD
P súlyos	KP	KP	KP	SP	SP	SP	SP	SP	SP

A táblázatban használt rövidítések: **N**: normál színlátás, **ED**: enyhe deuteranomália, **KD**: közepsúlyos deuteranomália, **SD**: súlyos deuteranomália, **EP**: enyhe protanomália, **KP**: közepsúlyos protanomália, **SP**: súlyos protanomália.



8. ábra A kiértékelés eredménye

A baloldali ábrán az látható, hogy például R-G=200, D=120, P=40 vizsgálati eredménynél a diagnózis -6,7-re adódik. Ez a mérési eredmény közepsúlyos deuteranomálokra jellemző. Ehhez a fuzzy analízis által rendelt -6,7 érték megfelel a várakozásnak. Azonban a jobboldali ábrán látható, hogy a modell még további finomításra szorul, mert az eredmények nem minden pontban illeszkednek az elvárt értékekhez.

4. Konklúzió

A megfelelően megválasztott fuzzy modellel lehetőség adódna egy egyszerű és olcsó színlátás vizsgálati módszerrel kiváltani a drága és hosszadalmas anomaloszkópos vizsgálatot oly módon, hogy a kapott diagnózis az anomaloszkóppal egyenértékű legyen. Ehhez a jelen modellt tovább kell finomítani, valamint a kapott eredményeket anomaloszkópos mérések eredményeivel validálni kell.

5. Hivatkozások

- [1] Birch J.: Diagnosis of Defective Colour Vision. Oxford: University Press (1993).
- [2] Fletcher, R., Voke, J. (1985): Defective Colour Vision. Adam Hilger Ltd.
- [3] Ishihara 2017 Tests for Colour Deficiency, 24 Plates Edition. Kanehara Trading Inc. Tokyo, Japan
- [4] Wenzel K, Ladunga K, Samu K, Langer I. 2011 Pseudo-Isochromatic Plates to Measure Color Discrimination, 21st symposium of the International Colour Vision Society, Kongsberg, Norway, Proc. pp. 85-86..
- [5] K Wenzel, K Samu: Pseudo-Isochromatic Plates to Measure Colour Discrimination, Acta Polytechnica Hungarica 9:(2) pp. 1-11. (2012) IF: 0.284
- [6] Wenzel K, Langer I.: Mérési tapasztalatok eg új színlátás teszttel, Lux et Color Vespremiensis, 2007.
- [7] Wenzel K., Urbin Á., Langer I., Samu K.: A szintévesztés korrekciója szemüveggel, Magyar Tudomány 182(2021)9, 1194–1202 DOI: 10.1556/2065.182.2021.9.4



Technológiai üzemállapotok figyelembevétele robbanásvédelmi kockázatértékelés során

Consideration of technological operating conditions in explosion risk assessment

¹Leitner Miklós, ²Elek Barbara, ³Daruka Norbert

¹ *Robbanásvédelmi szakmérnök, Projektmérnök, Hexagon Safety Services Kft. Budapest, Magyarország, miklos.leitner@outlook.hu*

² *Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, egyetemi docens, Budapest, Magyarország, elek.barbara@gmail.com*

³ *Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, képzésvezető, Budapest, Magyarország, daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu*

Összefoglalás

Tanulmány annak vizsgálatáról, hogy a robbanásvédelmi kockázat értékelés készítése során a vizsgált technológia egészének vagy részegységeinek üzemállapotai, hogyan befolyásolják a robbanásvédelemmel kapcsolatos kockázat értékelést. A robbanásvédelmi kockázat értékelés nem merül ki a technológia környezetének zónába sorolásában, figyelembe kell venni a potenciális gyújtó forrásokat, azok viselkedését a különböző üzemállapotokban. Ezért az értékelés alapját az MSZ EN IEC 60079:10-1:2021 szerinti zónába sorolás, mint általánosan alkalmazható módszertan és a MSZ EN 1127:2019 szerint értelmezett gyújtó források és kezelésük képezi. Az értékelés kitér olyan általános esetekre mikor a kockázat értékelést végző döntési helyzetbe kerül, az alkalmazott módszertan, illetve az egyéb szabályzók esetén eltérő zónába sorolások értelmezésekor, olyan esetekben amikor az üzem állapot meghatározhatja a zónába sorolás eredményeit.

Kulcs szavak: robbanásvédelmi kockázat, zónabesorolás, kockázatértékelés.

Abstract

A thesis investigating how the preparation of an explosion protection risk assessment is influenced, by the operating conditions of the technology or part of the technology under consideration, by how the explosion protection risk assessment is affected. The explosion protection risk assessment is not limited to the hazardous area classification of the technology's environment, it must take into account the potential ignition sources, their behaviour under different operating conditions. Therefore, the assessment is based on the zoning according to EN IEC 60079:10-1:2021 as a generally applicable methodology and the ignition sources and their management as defined in EN 1127:2019. The thesis covers situations where the responsible person for the risk assessment has to decide between different requirements and different results, where the decision is made with different plant conditions, which affect the outcome of the zoning.

Keywords: explosion protection risk, zoning, risk assessment.

1. A létesítési folyamat robbanás elleni védelemi feladatai

Magyarországon a robbanás elleni védelem az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés személyi, tárgyi és szervezeti feltételeit a szervezetten munkát végzők egészségének, munkavégző képességének megóvása és a munkakörülmények humanizálása érdekében, megelőzve ezzel a munkabaleseteket és a foglalkozással összefüggő megbetegedéseket, az állam, a munkáltatók és a munkavállalók feladatait, jogait és kötelességeit meghatározva a munkavégzés [1] feltételrendszerének része, azaz a 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről hatálya alá tartozik.

A törvény 3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM együttes rendelet a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben levő munkahelyek minimális munkavédelmi követelményeiről végrehajtási rendeletére alapján a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény (a továbbiakban: Mvt.) 23. §-ának (3) bekezdésében kapott felhatalmazás alapján a következőket rendelem el: 1. § (1) E rendeletet kell alkalmazni a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben lévő munkahelyekre, illetve azok kialakítására és használatára. [2]

Az OTSZ 5.0 – 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról – megjelenésével a tűzvédelemre vonatkozó technikai megoldások és műszaki követelmények az úgynevezett Tűzvédelmi Műszaki Irányelvekbe kerültek át (továbbiakban TvMI). A TvMI-k témakörök alapján a tűzvédelmi feladatok szerint kerületek kiadásra. [3]

Magyarországon az eddig munkavédelmi jogi szabályozáshoz kötődő munkabiztonsági szempontú – [2] 6. § (1) – a 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról módosítását követeően – Tvt. 3/A. § (3)b) – az 5.0 OTSZ (OTSZ 99. §) és a 2020. január 22-én megjelent első Robbanás elleni védelem - Tűzvédelmi Műszaki Irányelv műszaki tartalma alapján, a robbanás elleni védelemre vonatkozó műszaki tartalom és követelmény rendszer az építmények tűzvédelmi létesítési előírásainak minősülnek – OTSZ 4. § (1) –. Az említett jogi hivatkozási rendszerrel a Katasztrófavédelem a robbanás elleni védelem műszaki tartalmával kapcsolatban engedélyező hatóssággá lépett elő. [4]

Röviden összefoglalva – a robbanás elleni védelemre vonatkozóan – a tűzvédelem jogköre megjelenik a létesítési és engedélyezési eljárásrendszerben, hatással van az üzemeltetési feltételrendszerre, de az üzemeltetési feladatok továbbra is a munkavédelem jogi környezetébe tartozik.

Ennek jelentősége abban áll, hogy a robbanás elleni védelem üzemeltetési feladatkörbe tartozott egészen 2020. január 22-ig. A létesítési eljárás folyamán nem volt gyakorlat és nem volt követelmény az újonnan létesülő technológia, a technológiát befogadó létesítmény, a robbanás védelem szempontú vizsgálata, a kockázat értékelése, illetve az új létesítmény nem került tevésezi szinten kapcsolatba a robbanás veszélyes technológiával. [5]

A 3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM együttes rendelet 1. § (1) alapján: „E rendeletet kell alkalmazni a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben lévő munkahelyekre, illetve azok kialakítására és használatára.”

Következésképpen a munkavédelmi megfelelés már az üzemtevékenységhez és munkahelyekhez kötődött.

2. Üzemállapotok

A 3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM együttes rendelet 1. § (1) alapján – „E rendeletet kell alkalmazni a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben lévő munkahelyekre, illetve azok kialakítására és használatára.

(2) E rendelet alkalmazásában

a) robbanóképes légtér: az éghető gázok, gőzök, ködök (aerosolok) vagy porok levegővel

alkotott olyan keveréke, amelyben normál körülmények között, gyújtóhatásra az égés átterjed az egész keverékre;

b) potenciálisan robbanásveszélyes környezet: a munkatérnek az a része, ahol robbanóképes légtér kialakulhat.”

A rendelet a magyar megfelelője az ATEX 137 irányelvnek, de mint minden irányelv esetében a részletes műszaki tartalmat az irányelvhöz tartó szabvány biztosítja. A robbanás elleni védelem uniós szabványsora az EN 60079 jelszámmal rendelkező, általános szabvány, de technológia specifikusan, ország vagy régió szerint vannak további szabványok, illetve egyes technológiai szabványok gyakran tartalmaznak robbanás elleni védelemre vonatkozó műszaki tartalmat is. Magyarországon az MSZ EN, EN szabványok mellett megmaradtak MSZ szabványok és egyes rendeletek is tartalmaznak direkt követelményeket. Az előírások rendszerének hierarchiájában a jogszabályok követése kötelező, míg a szabványok alkalmazása önkéntes. Abban az esetben, ha a jogszabály egy-egy szabványt megnevez, akkor annak alkalmazása kötelező. [6][7]

A következő táblázatban bemutatunk egy rövid összefoglalást a vonatkozó rendelet és szabvány fogalmainak vonatkozásában, annak megértése érdekében, hogy hogyan kell definiálni a normál üzemállapotokat, illetve mely állapotokat, milyen műszaki tartalommal kell figyelembe vennünk.

1. táblázat Üzemállapotok definiálása

<p>MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szabvány <i>Robbanóképes közegek. 10-1 rész: Térségbesorolás. Robbanóképes gázközegek</i></p>	<p>3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM rendelet <i>a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben levő munkahelyek minimális munkavédelmi követelményeiről</i></p>
<p>3.3.1 veszélyes terület a robbanásveszélyes gázok miatt: olyan terület, ahol robbanásveszélyes gázközeg jelen van vagy várhatóan jelen lehet, illetve olyan terület, ahol robbanásveszélyes atmoszféra jelen van vagy várhatóan jelen lesz, olyan mennyiségben, hogy a berendezések építése, telepítése és használata során különleges óvintézkedések szükségesek.</p>	<p>1.§ (2)a) robbanóképes légtér: Az éghető gázok, gőzök, ködök (aerosolok) vagy porok levegővel alkotott olyan keveréke, amelyben normál körülmények között, gyújtóhatásra az égés átterjed az egész keverékre.</p> <p>1.§ (2)b) potenciálisan robbanásveszélyes környezet: A munkatérnek az a része, ahol robbanóképes légtér kialakulhat.</p>
<p>3.3.6 2. zóna: olyan terület, ahol robbanásveszélyes (gáz) közeg nem valószínű, hogy normál működés közben keletkezik, de ha mégis, akkor csak rövid ideig áll fenn.</p>	<p>1. számú melléklet 2. zóna: Az a munkatér, ahol normál üzemi körülmények között az éghető gázok, gőzök vagy ködök (aerosolok) levegővel alkotott keverékéből álló robbanóképes légtér ritkán és rövid időtartamban van jelen.</p>
<p>3.4.4 másodrendű kibocsátás: A (gáz) közeg olyan kibocsátása, amely a normál működés során várhatóan nem következik be, ha mégis bekövetkezik, akkor valószínűleg csak ritkán és rövid ideig fordulhat elő.</p>	

[A fent említett rendelet és szabvány alapján szerkesztette: Leitner Miklós]

A teljeskörű értelmezéshez fontosnak tartjuk még megemlíteni:

Munkavédelmi törvény 21. § (7) alapján: „Ha a veszélyes munkaeszközt, technológiát próba- vagy kísérleti jelleggel üzemeltetik, úgy az üzembe helyezési eljárás során figyelemmel kell lenni a próba- vagy kísérleti üzemeltetés kockázataira is. A veszélyes munkaeszköz, technológia próba- vagy kísérleti jelleggel történő üzemeltetésére kizárólag a (3) bekezdés szerinti próba- vagy kísérleti jelleggel történő üzemeltetéstől független előzetes vizsgálatok lefolytatását követően kerülhet sor...”

OTSZ 99. § (1) alapján: „A fokozottan tűz- vagy robbanásveszélyes osztályba tartozó anyag előállítása, feldolgozása, használata, tárolása és forgalmazása során az érintett térrészben, helyiségben, építményben, ipari technológiai egységben, továbbá az e tevékenységekkel összefüggő tervezés és kivitelezés során a robbanás elleni védelmet – kivéve elhanyagolható mértékű robbanásveszély esetén – tervezéssel és védelmi intézkedésekkel biztosítani, a védelmi intézkedéseket dokumentálni kell.”

2. táblázat Üzemállapotok és karbantartások definiálása

<p>MSZ EN IEC 60079-10-1:2021 szabvány <i>Robbanóképes közegek. 10-1 rész: Térségbesorolás. Robbanóképes gázközegek</i></p>	<p>3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM rendelet <i>a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben levő munkahelyek minimális munkavédelmi követelményeiről</i></p>
<p>3.7.1. normál üzem: Olyan állapot, amikor a berendezés a tervezett paramétereken belül működik. Balesetek által okozott meghibásodások (mint például a szivattyú tömitések, karimadugók vagy kiömlések), amelyek javítással vagy leállítással járnak, nem tekintendők a normál működés részének. A normál működés magában foglalja az indítási és leállítási feltételeket és a rutinszerű karbantartást, de nem foglalja magában az üzembe helyezés részeként történő első beindítást.</p>	<p>1. számú melléklet - A besorolásnál a következőket kell figyelembe venni: Normál üzem alatt azt az állapotot értjük, amelyben a berendezéseket az üzembe helyezési paramétereik között használjuk.</p> <p>4. § (9): Ha a kockázatértékelés során megállapításra kerül, hogy energiakimaradás esetén a robbanás kockázata növekedhet, akkor biztosítani kell, hogy a készülékek és védelmi rendszerek az egyéb üzemi rendszerektől függetlenül energiakimaradás esetén is biztonságos üzemállapotban maradjanak. <i>Az automatikus üzemmódban működő készülékek és védelmi rendszerek esetén, amelyek normál üzemi körülmények között előre meghatározott üzemmódot váltanak ki, biztosítani kell, hogy azok kézzel lekapcsolhatók legyenek.</i></p>
<p>3.7.2 rutinkarbantartás: A normál működés során a berendezésen alkalmanként vagy időszakonként elvégzendő művelet a megfelelő teljesítmény fenntartása érdekében</p>	

[A fent említett rendelet és szabvány alapján szerkesztette: Leitner Miklós]

Megfigyelhető, hogy a jogszabályi, szabványi környezet alapján a normál működés, az üzemállapot értelmezésében nincs konszenzus. A fogalmak műszaki tartalma, a követelmények vonatkozása eltérő. Az értelmezés annak függvényévé válik, hogy melyik jogszabályt, szabványt alkalmazom.

További nehézséget jelent, egy berendezés vagy létesítmény szempontjából a tervezői feladatok, a kivitelezői feladatok, üzemeltetés és karbantartás, valamint a robbanás védelmi követelményeinek, feladatainak értelmezése.

Az előzőekben ismertetett tények alapján javaslatot teszünk a fő üzemállapotok meghatározására a hazai jogszabályi hierarchia, illetve szakmai követelmények figyelembevételével:

- ~ **Normál üzem:** Normál üzem alatt azt az állapotot értjük, amelyben a berendezéseket az üzembe helyezési paramétereik között használjuk.
- ~ **Üzemindítási üzemállapot:** Üzemindítási üzemállapot alatt azt az átmeneti kontrollált folyamatot értjük, amelyben a berendezés/technológia indítási folyamataival eléri a tervezett üzemeltetési paramétereket, majd Normál üzem állapotban használjuk.
- ~ **Üzem leállítási üzemállapot:** Üzem leállítási üzemállapot alatt azt az átmeneti kontrollált folyamatot értjük, amelyben a berendezés/technológia a Normál üzem állapotából, a leállítási folyamatokkal eléri a teljes technológiai leállítást.

Megjegyzés: Az üzem leállítási folyamatainak végén a teljes feszültségmentesítés nem követelmény.

- ~ **Próba üzem:** Próba üzem alatt azt az üzem állapotot értjük, amelyben a berendezés/technológia telepítési, üzembe helyezési folyamatában, a Normál üzem állapot feltételrendszerét, a technológia paraméterek összehangolásával, technológiai próbával, teszt eljárással, a célberendezés eléri.
- ~ **Karbantartás:** Karbantartás vagy karbantartási üzemállapot alatt azt az állapotot értjük, amelyben a berendezések időszakos vagy rendkívüli karbantartását el lehet végezni. A berendezés nem végez termelő vagy funkció szerinti tevékenységet. Megjegyzés: A karbantartási állapot beállításához szükséges műszaki feltételeket a berendezés gépkönyve szerint kell előállítani.
- ~ **Üzemen kívül:** A berendezés feszültség mentesített állapotban van.

3. Robbanásvédelmi kockázat értékelés

A robbanásvédelmi kockázat értékelésen két különböző kockázatértékelési módszertan értendő:

- ~ a potenciálisan robbanásveszélyes terek zónába sorolása,
- ~ a berendezések vagy robbanásveszélyes terek gyújtóforrás elemzése.

Az OTSZ szerint a robbanás elleni védelmet – kivéve elhanyagolható mértékű robbanásveszély esetén – tervezéssel és védelmi intézkedésekkel biztosítani kell. A 3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM együttes rendelet a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben lévő munkahelyekre, illetve azok kialakítására és használatára alkalmazni kell – 1. § (1) – megkötést teszi, ahol a normál üzemállapotot értelmezi.

Az OTSZ (létesítmény) és az MSZ EN IEC 60079:10-1:2021 (berendezés környezete) is utal a tervezői tevékenységre, de egyértelmű megkötés a normál állapot kockázat értékelésére vonatkozik.

Az intenzíven fejlődő és nagyértékű ipari technológia létesítési folyamataiban már nem elhanyagolható a megfelelő és tudatos tervezés. Azért, hogy a tervezői folyamatok eleget tudjanak tenni az OTSZ és a munkavédelmi törvény előírásainak, a robbanásvédelmi kockázat értékelő folyamatokat javasolt kiterjeszteni a normál üzemállapot feltételrendszerétől a definiált további üzemállapotok feltételrendszerére. [8]

Az különböző üzemállapotok esetén fennálló robbanásveszély eltérő lehet. Bizonyos esetekben nem a technológiai veszélyen, nem a normál üzemállapot esetén, hanem az *Üzemidítási üzemállapot*-ban vagy az *Üzem leállítási üzemállapot* esetén jelenik meg.

A tervezői tevékenység folyamán a költséghatékonyság meghatározó szempont. Abban az esetben, ha az üzemállapotok szerint a technológia robbanásvédelmi kockázatértékelése elkészül, meghatározható a szükséges biztonsági szint, amely esetén azok a funkciók, melyek nem részei a normál üzemállapotnak (*Karbantartás*, *Üzemidítási üzemállapot*, *Üzem leállítási üzemállapot*) kiszakaszolhatóak, leválaszthatóak és eltérő biztonságtechnikai védelemmel tervezhetőek. [9]

4. Összegzés

A jogszabályok értelmezési köréből a gyakorlatban a következő tapasztalatok szűrhetőek le.

A robbanás elleni védelem alapját a robbanásvédelmi kockázatértékelés adja, amely egyszerre jelenti a technológia és a technológiát befogadó létesítmény potenciális robbanásveszélyes területeinek meghatározását és a az adott területek gyújtóforrás elemzését. Ez a tevékenység nem tervezői, hanem tervezést támogató tevékenység. [8]

A technológia vagy létesítmény tervezési folyamata során az adott műszaki állapot a technológia

vagy létesítmény teljes életciklusa szerint értelmezett kockázatértékelését kell, hogy jelentse.

Nem csak a tervezett normál állapotra kell kiterjedt figyelmet fordítani, hanem a technológia teljes üzemállapot rendszerét figyelembe kell venni.

A robbanásvédelmi kockázat értékelést készítő személynek szoros kapcsolatban javasolt lennie a technológia tervezőjével.

Ha a kockázatértékelés bármely tervezett üzemállapotban olyan műszaki feltételeket talál mely esetén robbanás következhet be, technológiai védelmeket kell beépíteni, vagy a szükséges korlátozásokat meg kell határozni.

Tervezői tevékenység keretén belül, a szükséges tiltásokat, mint lehetséges következményeit a robbanásvédelmi kockázatértékelésnek a műszaki dokumentációban rögzíteni kell.

Az Üzemeltetőt fel kell készíteni a kötelezettségeire, a korlátozásokra, illetve a robbanásvédelmi dokumentációnak ki kell terjednie a különböző üzemállapotok robbanásveszélyes kockázataira.

Az publikáció során ismertetett javaslatok, illetve levont következtetések mind arra világítanak rá, hogy a terület hazai szabályozásának még vannak kitérítetlen hézagai. Ahhoz, hogy a munkavállalók érdekeit, vagyis az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételeit meg tudjuk teremteni, szükséges a folyamatos és a technológiai fejlődést is szem előtt tartó szakmai felülvizsgálatokat minden területen végrehajtani.

5. Hivatkozások

- [1] 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300093.tv>; Letöltés: 2023. március 20.
- [2] 3/2003. (III. 11.) FMM-ESzCsM együttes rendelet a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben levő munkahelyek minimális munkavédelmi követelményeiről. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0300003.fmm>; Letöltés: 2023. március 20.
- [3] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400054.bm>; Letöltve: 2023. február 13.
- [4] 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról. Forrás: <https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600031.TV>; Letöltés: 2023. június 20.
- [5] KIRÁLY Lajos (2016): A robbanásveszélyes terekben történő munkavégzés feltételrendszere. Védelem Tudomány, I./1. pp.: 82-96. (2016). Forrás: http://vedelemtudomany.hu/articles/06_Kiraly.pdf; Letöltve: 2023. március 26.
- [6] MSZ EN 60079:10-1:2021 Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres.
- [7] Az Európai Parlament és a Tanács 1999/92/EK irányelve (1999. december 16.) a robbanásveszélyes légkör kockázatának kitett munkavállalók biztonságának és egészségvédelmének javítására vonatkozó minimumkövetelményekről.
- [8] DARUKA Norbert (2023): A robbanásvédelem aktuális kérdései és megvalósításának lehetőségei a robbanóanyag gyártás érintett területein. Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Diplomadolgozat 2023. p. 100.
- [9] Barbara ELEK (2022): Risk analysis of a reservoir as a vital system component. Védelem Tudomány 2022. VII./4. pp. 212-229. ISSN 2498-6194.



Intézményi műtárgyvédelem: bevezetés a közgyűteményi raktározásba

Institutional ArtWork Protection: introduction to public collection storage

¹Lőrincz László

¹Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország.
lorincz.laszlo@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Közgyűteményi intézményrendszerben a műtárgyak védelme során a raktározás egy kritikus tényező a műtárgyak biztonsága érdekében. A megfelelő védelem kidolgozása során a helyszín és a műtárgy adottságainak a figyelembevétele szükséges az általános elgondolásokon kívül. A jelenlegi szakmai elvek szerint a műtárgyvédelem szerves részét képezi a kiállítás mellett a tárolás, amely során számos kockázati tényező figyelembevételével a minimális kockázati szintre csökkentve történik a műtárgyak tárolása.

Kulcs szavak: műtárgyvédelem, intézményi műtárgyvédelem, közgyűtemény, közgyűteményi intézményrendszer, közgyűteményi raktározás

Abstract (Abstract címsor stílus)

In the context of Artwork Protection in public collections institutions, storage is a critical factor for the security of artworks. In addition to the general considerations, the site and the characteristics of the monument need to be taken into account when designing the appropriate protection. According to the current professional principles, the ArtWork Protection is an integral part of the exhibition and storage, which involves the storage of artefacts in a way that minimises the risk by taking into account a number of risk factors

Keywords: ArtWork Protection, Institutional ArtWork Protection, Public Collection, Public Collection Institutions, Public Collection Storage

1. Műtárgyvédelem – intézményi műtárgyvédelem

Alapkutatásom téméja az *Intézményi műtárgyvédelem időszaki kiállítások vonatkozásában*, mely keretén belül a magyarországi és a nemzetközi intézmények tanulmányozása és összehasonlítása a célom, amely lehetőséget biztosít a komplett intézményi műtárgyvédelem, mind a vagyónvédelmi és mind az állományvédelmi protokollok megismerésére. [1]

Az intézményi műtárgyvédelem nem egy szokványos vagyónvédelmi terv vagy biztonsági protokoll meghatározása, hanem annál jóval több, mert egészen más kockázati tényezőkre, veszélyekre és környezeti feltételekre kell felkészülni egy kiállításnál, hiszen a művészek és a kurátorok sajtóságos értelmezése szerint nem csak a kihelyezett műtárgy a kiállítás tárgya, hanem legtöbbször az a helyiség is az installáció, azaz, ahol a műtárgy elhelyezésre került, ennek

megfelelően a projekt kezdetétől a zárásig, azaz ismételt raktározásig a kiépített védelmi rendszer struktúrájának megfelelően rugalmasnak kell lennie, illetve a fenyegetéssel arányosan kell annak elemeit meghatározni. [2]

Sajnálatos módon a műtárgyvédelemmel kapcsolatos irodalom hazánkban kívül még nemzetközi szinten is sok tekintetben hiányos, de a különféle szabályozási és eljárási protokollok is sok esetben nagyon kezdetleges szinten vannak.

2. Közgyűjtemény – közgyűjteményi intézményrendszer

A közgyűjtemény, mint gyűjtőfogalom magában foglalja az állam, a helyi önkormányzat, valamint a nemzetiségi önkormányzat, a köztestület és a közalapítvány tulajdonában (fenntartásában) működő, vagy általuk alapított könyvtárakat, levéltárakat, múzeális intézményeket és a kép-, illetve hangarchívumokat. [3]

Ezek a közgyűjteményi intézmények gazdag gyűjteményeket őriznek, amelyek a kultúra, a művészet, a történelem és a nemzeti értékek sokféle aspektusát ölelik fel. A közgyűjtemények számos formát ölthetnek, beleértve a múzeumokat, könyvtárakat, levéltárakat, galériákat és egyéb hasonló intézményeket, amelyek értékes műtárgyakat és dokumentumokat őriznek meg a jövő generációi számára.

Magyarországon a közgyűjteményi intézményrendszerbe összesen 1710 intézmény tartozik, így nem megkérdőjelezhető tehát, hogy a hazánkban is jelentős mennyiséggel bír a közgyűjteményi raktárak száma.

3. Közgyűjteményi raktározás

A közgyűjteményi raktározás magában foglalja az értékes műtárgyaknak a tárolását, gondozását és megőrzését. A raktárakban vagy depókban történő tárolás során gondoskodni kell a közgyűjtemények megfelelő környezeti feltételeiről, a megfelelő biztonsági intézkedésekről és az esetleges károk megelőzéséről.

A közgyűjteményi raktározásnak magában kell foglalnia az állománykezelés, a rendszerezés és a dokumentáció szabályozását is. Az intézményeknek figyelemmel kell kísérniük az anyagok állapotát, és szükség esetén konzerváló vagy restauráló beavatkozásokat kell végrehajtaniuk az anyagok megőrzése érdekében.

3.1 Közgyűjteményi raktározás meghatározása

A raktárbiztonság olyan fogalom, amely a tárolási helyek, tárgyak és az ott dolgozók fizikai és szellemi védelmét jelenti. [4] [5] [6] A raktárbiztonságának elsődleges célja az értékes tárgyak, műtárgyak vagy dokumentumok védelme a lopástól, károkozástól vagy más veszélyektől. A raktárbiztonság számos fontos elemet tartalmaz, ideértve a következőket:

- Fizikai védelem: a raktár fizikai biztonsága az épület, a kerítés, az ajtók és az ablakok védelmét jelenti. Valamint a raktár területén történő hozzáférést és mozgást korlátozó intézkedések.
- Biztonságtechnikai védelem: riasztók, jelző rendszerek, biztonsági kamerák (CCTV), beléptető rendszerek és robotok (humanoid, robot kutya, üzemeltető) használata és biztonsági központ, valamint, monitorszoba kialakítása.
- Tűzvédelem: a tűzvédelem fontos része a raktár biztonságának. Ez magában foglalja a tűzoltó berendezések telepítését, tűzjelző rendszerek használatát, tűzoltóképzést és a gyors reagálást, ha tűz keletkezik. Különösen fontos feladat a megfelelő oltási technológia megválasztása, melyre egy különálló adott esetre specifikus kutatásban ki lehet térni.

- Lopás elleni védelem: a raktár lopás elleni védelmének részeként alkalmazhatnak fizikai védelmi intézkedéseket, például zárat, ajtókat és riasztórendszereket. Emellett a belső ellenőrzési eljárások, az műtárgyak követése és a rendszeres leltározás is segít a lopás elleni védelemben. Többszintű biztonsági szabályzat kidolgozása szükséges kiterve az alap védelemre és az egyedi kiegészítő műtárgy specifikus védelmekre.
- Környezeti feltételek ellenőrzése: a műtárgyak vagy “érzékeny” tárgyak szempontjából fontos az optimális környezeti feltételek fenntartása. Ez magában foglalja a hőmérséklet és páratartalom szabályozását, szálló por védelmet, valamint az UV-sugárzás és egyéb káros hatások elleni védelmet. Az aktuális energiapolitikai kihívások miatt figyelembe kell venni a fenntarthatóságot és a megújuló energiákat is.
- Adatvédelem: a raktárban tárolt adatok és dokumentumok védelme is kulcsfontosságú. Az elektronikus rendszerek, biztonsági másolatok és hozzáférési kontroll lehetőségek segítenek az adatok biztonságában. Erre számos szabvány és ajánlás emelhető át az üzleti szektorból például ISO 27001. [7]
- Preventív személyi védelem és biztonság tudatos oktatás: az alkalmazottak oktatása és felkészítése a biztonsági eljárásokra és a vészhelyzeti szituációk kezelésére létfontosságú. A személyi védőfelszerelések biztosítása a raktárban dolgozók részére is hozzájárul a fizikai biztonsághoz.
- Kiberbiztonság: a digitális raktárakban a kiberbiztonság is kiemelkedő fontosságú. A tárolt adatok és azok hozzáférhetősége elleni védelem kritikus a raktár biztonsága tekintetében.

A raktár biztonsága minden olyan intézkedést magában foglal, amelyek megelőzik a veszélyeket és kockázatokat, hatékonyan védi az értékeket, valamint a raktárban dolgozó személyek biztonságát. A biztonsági intézkedések kialakításához és karbantartásához általában speciális biztonsági szakemberek és tervezők vesznek részt.

3.2 Közgyűteményi raktározás során felmerülő kockázatok

A biztonságos közgyűteményi raktározás során számos kockázat merül fel. Ezeket a kockázatokat jellemzőik szerint csoportosíthatjuk. Egy biztonságos raktár esetében mindegyik csoportra és kockázatra kiterjedő kockázatelemzés szükséges. A kockázatokat általánosan és egyedileg is vizsgálni kell.

Az általános vizsgálat esetén a raktárra vonatkozó elemzések értendőek, míg az egyedi vizsgálat esetén pedig, egyedi műtárgy és a raktár együttesét együtt és külön is elemezni kell. Ez előbbi a raktár biztonságának tervezése során nyújt segítséget a második egy adott kiállítás vagy raktárba vétel esetén történő eljáráshoz nyújt segítséget. A közgyűteményi raktározás biztonsági kockázatai

- fizikai veszélyek: lopás, károkozás és vandalizmus, tűz és robbanás, vízkár, berendezési hibák, egyéb természeti katasztrófa
- környezeti tényezők: hőmérséklet és páratartalom, fény és UV-sugárzás, szálló por, sav / lúg
- kártevő: rágcsáló, szú, gomba / baktérium
- hozzáférési problémák: illetéktelen hozzáférés, szakszerűtlen kezelés
- digitális veszélyek: kiberbiztonsági fenyegetések, adattörlés és veszteség
- költségvetési és erőforrás korlátok: alacsony költségvetésű intézmények, hiányzó eszközök és technológia

4. Konklúzió

Magyarországon a közgyűjteményi raktárak zömmel állami tulajdonban vannak, kisebb részben önkormányzati vagy egyházi-, esetleg magántulajdonban, a vidéki múzeumok ingatlanállománya pedig önkormányzati tulajdonban vannak.

A közgyűjteményi raktározás azoknak a kulturális intézményeknek az egyik funkciója, amelyek a közgyűjtemények kategóriájába tartoznak, mint például könyvtárak, múzeumok vagy levéltárak. A közgyűjteményeknek az a céljuk, hogy gyűjtsék, megőrizték, dokumentálják és hozzáférhetővé tegyék a kulturális, művészeti vagy tudományos értékű anyagokat a közösség számára és ehhez elengedetlen a műtárgyak raktározása.

Közgyűjteményi intézményrendszerben a műtárgyak védelme során a raktározás egy kritikus tényező a műtárgyak biztonsága érdekében. A megfelelő védelem kidolgozása során a helyszín és a műtárgy adottságainak a figyelembevétele szükséges az általános elgondolásokon kívül. A jelenlegi szakmai elvek szerint a műtárgyvédelem szerves részét képezi a kiállítás mellett a tárolás, mely során számos kockázati tényező figyelembevételével az elvárt/elfogadott kockázati szintre csökkentve történik a műtárgyak tárolása.

5. Hivatkozások

- [1] László Lőrincz, Tamás Berek: The Role of Closed-Circuit Television in Institutional ArtWork Protection as a Subsystem of Smart City, *Interdisciplinary Description of Complex Systems* 21(4), pp 391. (2023).
- [2] László Lőrincz, Tamás Berek: The Role of Closed-Circuit Television in Institutional ArtWork Protection as a Subsystem of Smart City, *Interdisciplinary Description of Complex Systems* 21(4), pp 394-395. (2023).
- [3] 1997. évi CXL. törvény a muzeális intézményekről, a nyilvános könyvtári ellátásról és a közművelődésről I. sz. mellékletének o.) pontja
- [4] Z. László, Milyen szabályokat kell figyelembe venni az áruk raktári elhelyezésénél?, 2008. kiad. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.
- [5] N. Hofstra, B. Petkova, W. Dullaert, G. Reniers, és S. de Leeuw, „Assessing and facilitating warehouse safety”, *Saf. Sci.*, köt. 105, o. 134–148, jún. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2018.02.010.
- [6] F. Halawa, H. Dauod, I. G. Lee, Y. Li, S. W. Yoon, és S. H. Chung, „Introduction of a real time location system to enhance the warehouse safety and operational efficiency”, *Int. J. Prod. Econ.*, köt. 224, o. 107541, jún. 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107541.
- [7] ISO standard 27001, Information security, cybersecurity and privacy protection Information security management systems. 2022.



Égésálló anyagok és változó kihívások

Flame retardants and changing challenges

¹Nagy Rudolf

¹Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary, ORCID: 0000-0001-5108-9728, nagy.rudolf@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás (Abstract címsor stílus)

A modern világunk teremtette kihívások az anyagtudományok terén is sok változást hoztak. Széles tárházát megteremtve az olyan anyagoknak, amelyek a már évezredek óta velünk lévő természetes alapanyagok mellett jelentősen szélesítették a környezetünkben mutatkozó tűzveszélyt. Ezért az elmúlt évszázadokban az anyagok éghetőségének visszaszorítására tett kísérleteinket tovább kellett fejlesztenünk. Az ennek eredményeként megszülető égésálló anyagok tárháza is jelentősen kibővült. A környezetbiztonságra és a fenntarthatóságra való törekvéseink nyomán azonban bebizonyosodott, hogy néhol a kedvező tűzvédelmi tapasztalataink ellenére bizonyos területeken az égésálló anyagok egyes csoportjait ki kell vezetnünk a széleskörű használatból. A változó követelmények nyomán jelentős kutatások indultak meg tűz elleni védelem ezen sajátos területén, kiváltandó az említett anyagokat.

Kulcs szavak: égésálló, tűzvédelem, lángterjedés, égés, gyulladás

Abstract (Abstract címsor stílus)

The challenges of our modern world have also brought many changes in the field of materials science. By creating a wide range of materials that, in addition to the natural materials that have been with us for thousands of years, have greatly expanded the fire risk in our environment. Therefore, our attempts to reduce the flammability of materials in recent centuries have had to be further developed. As a result, the range of flame retardants has also expanded considerably. However, in our quest for environmental safety and sustainability, it has become clear that, despite our positive experience in some areas of fire safety, some groups of flame retardants need to be phased out of widespread use in certain areas. In response to changing requirements, considerable research has been undertaken in this particular area of fire protection to replace these materials.

Keywords: flame retardant, fire protection, flame spread, combustion, ignition

1. Bevezetés

Az ókori feljegyzések bizonyítják, hogy már az egyiptomiak is használtak timsót, kristályvizet kálium-alumínium-szulfátot ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$) tűz elleni védekezésül. A kezelendő faanyagot beáztaták a sóoldatba, melynek hatására a belőle ácsolt faszervezetek égését eredményesen fékeztek. [1] Ezt később a görögök is átvették, ahogyan arról Aulus Gellius Attikai éjszakák című művének XV. Könyvében megemlékezik¹.

¹ "... amikor Lucius Sulla megtámadta a Pireuszt Attika földjén, ... nem tudta felgyújtani a védők
318

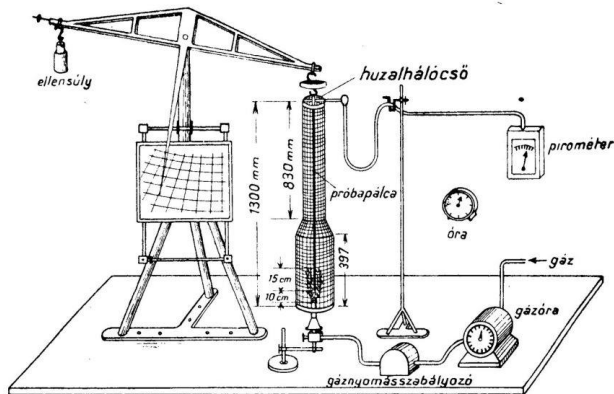
A római légiók harcai során használt fa ostromtornyok védelmét tovább fokozták ecet hozzáadásával. A régmúltban a tűz fenyegette éghető anyagokat ilyen és egyéb más módon is igyekeztek tűzállóvá tenni, például alóbb említettek mellett agyagréteggel bekenve tették a védők gyújtónyilaival szemben ellenállóvá a faszervezeteiket. [3]

Az újkori tűz elleni megoldások is építettek az ókori vegytani ismeretekre. Ezt jelzi, hogy 1735-ben a britt Obadiah Wyld által kifejlesztett timsó, vas-szulfid és bórax keverékéből álló égésgátló keverék volt az első szövetek és papír lángterjedésének megakadályozására szabadalmaztott megoldás. [4]

Fontos kiemelni, hogy az ekkortájt rohamosan fejlődésnek indult textilipar és az ennek következtében az épületek belső tereinek felkapott és mind nagyobb felületű dekorációjaként használt textíliák rendre kiváltói okai voltak tragikus kimenetelű tüzeseteknek. Köztük ilyen volt a nagy nyilvánosságot kapott 1897-es párizsi jótékonyági vásáron bekövetkezett katasztrófa is. Az eset vizsgálata kiderítette, hogy a helyszín felett kifeszített vászon lehulló égő darabjai, az akkoriban divatos, de egyben igen nehezen is kezelhető női ruházatot lángra lobbantva tömegesen szedték áldozataikat az oda kilátogató dámák soraiból. A tüzeset olyan szörnyű hevességgel harapódzott el, hogy szomorú apropóként, ehhez köthetően számítják a katasztrófa áldozatainak törvényszéki fogorvostani azonosításának kezdeteit is. [5]

Ugyanakkor a modern hadviselés velejárójaként is fontos szerep jutott az égésgátló anyagok használatának. A hadviselésben kiterjedten alkalmazott gyújtóbombák hatásainak kietett faszervezetek prevencióis célzattal idejekorán történő kezelésük nyomán a termitbombákkal szemben is jelentékenyen tudták csökkenteni a tüzek terjedését, amint arról a háborús veszélyekre felhívó az 1940-ben a Légoltalmi Parancsnokság országmozgósítási ügyosztály előadójának, Förster Rezső vegyész-mérnöknek a tollából megjelent szakmai tudósítás is tanúskodik. [6]

Az ennek előfeltételeként szükséges műszaki követelmények teljesítéséhez elnegedhetetlen szabványosított vizsgálati módszertant a m. kir. belügyminiszternek 180.000/1936 BM számú-rendelete nyomán maga az akkori lakosságvédelemért felelős Országos Légoltalmi Parancsnokság tette közzé 1938-ban a Honvédségi Közlönyben, melynek vizsgálati elrendezését mutatja az 1. ábra. [7]



1. ábra: Vizsgáló berendezés

faszervezetek égését gátló anyag vizsgálatához [7]

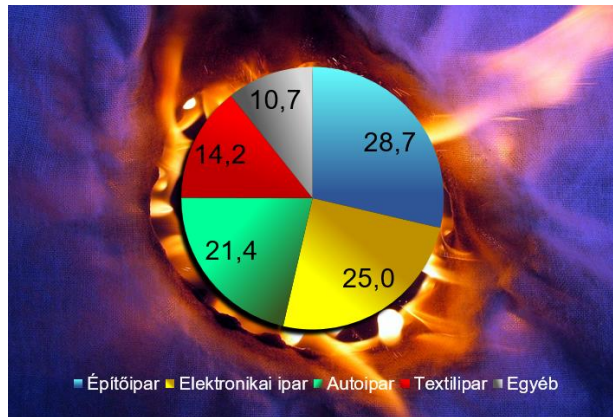
A modern égésgátló és égéskésleltető szerek² alkalmazásával történő tűzzel szembeni hathatós

egyetlen egy fatornyát sem, ... mert Archelaosz timfölddel kente be azokat." [2]

²Azon anyagok, amelyek a szilárd éghető anyagok termikus átalakulásait befolyásolva csökkentik

fellépés úgy az épített környezetünk, mint a mindennapi árucikkek anyagainak tűzbiztonságának növelésében mára alapvető követelménnyé vált. Nem mellesleg épp ezeknek is köszönhető, hogy drasztikus mértékben sikerült visszaszorítani a tüzekben elveszített életek számárányát a fejlett tűzvédelmi követelményt érvényesítő országokban.

A lakások és más közösségi célú építmények belső dekorációi kialakításának biztonságossá tételében elengedhetetlen a tűzvédelmi szempontok érvényesítése. Az ezek érintő éghető anyagok között ott található a különféle installációkat, berendezési tárgyakat, valamint irodatechnikai eszközöket, háztartási gépeket, illetőleg a csomagoló anyagokat. Az ennek az intenzív fogyasztói társadalom előidézte felhasználásuknak ágazatokonkénti illusztrálására szolgáló 2. ábra mutatja, hogy a mindezen termékeket előállító ipari termelésben az égéskésleltetők széleskörűen vannak jelen.



2. ábra: Égésgátlók alkalmazási területeinek globális megoszlása iparáganként³ [7]

Ezeken túl maguk az épületek szilárd éghető belső szerkezeteinek és egyéb építési termékeknek anyagai meggyulladásából keletkező tüzesetek is kritikus elemét képezik a tűzveszélynek. Az ilyen növekvő tűz jelentette magasabb tűzkockázatok csökkentésében kulcsfontosságú az épületszerkezetek tűzhatással szembeni ellenállóképességének fokozása.

1.1 Faanyagok égésgátlása

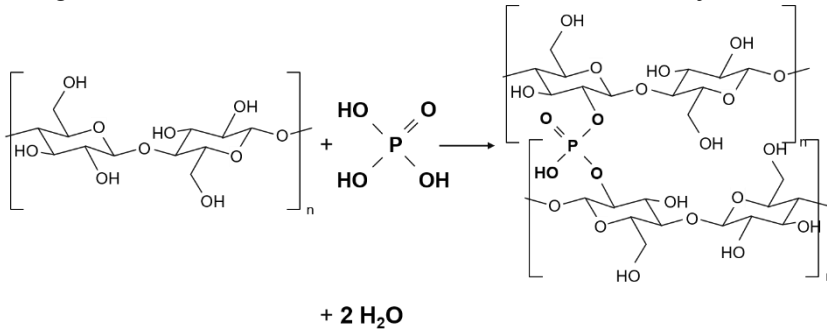
Az említett éghető építési termékek felhasználásában kiemelt helyet foglalnak el a faanyagok. A családi és esetenként a társasházak tetőszerkezeténél máig fontos alapanyagok a fűrészárúk. Azonban a modern építészetben az esztétikai megfontolások alapján is újabban ismételten teret hódítanak a fa tartószerkezetek, melyek közül a ragasztott rétegelt kivitelűek szélesebb felhasználási lehetőségekkel bővítették a tervezők lehetőségeit. [10]

A faanyagokat, mint építési terméket vizsgálva tűzvédelmi oldalról alapvetően az éghetősége az ami meghatározó. A természetes formájában a fának, mint a cellulóz alapú anyagnak a beégésében hevítésekor kezdetben jelentős mennyiségű éghető, gáz halmazállapotú úgynevezett pirolizált bomlástermékeket szabadulnak fel. A bomlási folyamat következtében az éghető gázok felszínre törve bekapcsolódnak az ott zajló égési folyamatba. [11]

annak égéshetőségi tulajdonságait. (a Szerző)

³ Szerkesztette a szerző: Burkhart [9] nyomán.

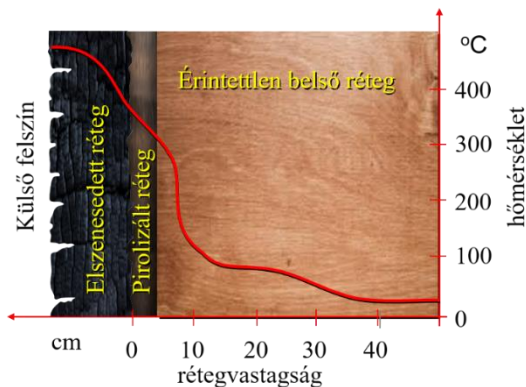
A pirolizált rétegben a termikus bomlási folyamatok lezárultával elszenesedett réteg marad vissza. A keletkezett faszén a rossz hővezetésének köszönhetően tovább fokozza a hőszigetelő hatást a mélyebben elhelyezkedő eredeti állapotú részek irányába. Az ilyen típusú átalakulásokat a savas kémhatás elősegíti, amit alábbi 3. ábrán bemutatott reakciómechanizmus is jól szemléltet.



3. ábra: Cellulózláncok térhálósodása savas kémhatású közegben⁴

A farostok rossz hővezetési tényezőjének köszönhetően a belső részek irányába egyébként is igen lassan emelkedő hőmérséklet következtében a szerkezeti anyagok csak mérsékelt ütemben vesztenek szilárdságukból. Az előbbieken jellemzett égési folyamatban létre jövő karbonizált réteg szigetelő hatását bizonyos égésgátló anyagok segítségével felgyorsítva, mesterségesen is előidézhetjük a faanyagok a szigetelő hatás általi, tűzzel szembeni védelmet nyújtó folyamat lezajlását. [13]

A lassú hővezetés ellenére azonban idővel ezek a még érintetlen rétegek is elérik bomlási hőmérsékletüket és megindul bennük a pirolízis. Így éri el a faanyag egyre mélyebb rétegeit az átalakulás, amint azt a 4-es ábrán is megfigyelhetjük. Az elvárt szilárdsági állapotok megtartása tehát a még tűzhatástól érintetlen belső keresztmetszetek nagyságától függenek. Vagyis a tűzállósági teljesítményt az úgynevezett beégési sebesség figyelembe vételével kell kalkulálni. Ez jellemzően a faanyag minőségétől függ.



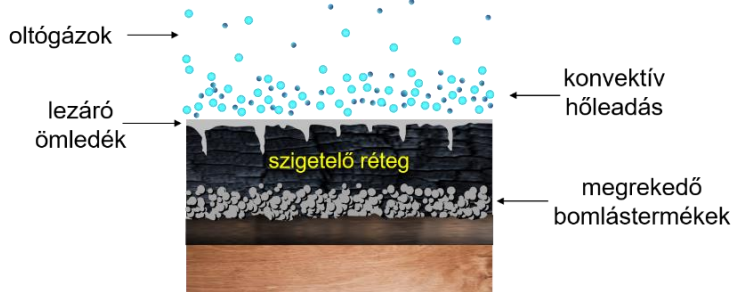
4. ábra: Fa anyagának beégési folyamata⁵

⁴ A cellulózmolekulák térhálósodása révén a foszforsav és származékai megváltoztatják a pirolízis lezajlását, csökkentve az illékony bomlástermékek mennyiségét és a felszínen elszenesedett hőszigetelő hatást kifejtő réteg képződik. [12]

⁵ Szerkesztette: Mikkola [14] nyomán a Szerző

Az említett természetes tűzhatásban jelentkező termikus viselkedés körülményei teszik viszonylag elfogadható B tűzvédelmi osztályú építőanyaggá és tartószerkezetként alkalmazhatóvá fából készült szerkezeteket. Megfelelő égéskésleltetés következtében a fa anyagát képező cellulóz bomlását kémiai úton fékező mechanizmus közbeiktatásával tovább csökkenthető a beégés folyamata. Az ehhez szükséges vegyi anyagokkal a fa porózus szerkezetének köszönhetően igen eredményesen telíthető a felhasználni kívánt szerkezeti anyag. Az erre alkalmas technológiák közül az impregnálás folyamán az égésgátló szert valamilyen folyadékban oldatba áztatják az anyagot. Persze az oldatot más módon, például ecsettel is felhordhatják vagy rápermetezhetik a fa felületére.

A fa impregnálása során égéskésleltetés történhet oltógázokat fejlesztő anyagok segítségével, de egyéb fizikai módon is gátolható a faanyagok hővel szembeni ellenállósága. A már említett kedvező hőszigetelő hatás növelhető hő hatására a felületen elszenesedést kiváltó anyagokkal való impregnálás útján is, illetőleg a fa felszínén olvadékként a felszínre törő bomlástermékek útját elzáró anyagokkal is, ahogyan azt a 5-ös ábrán is láthatjuk. [15]



5. ábra: Fa égéskésleltetési mechanizmusában szerepet játszó jelenségek illusztrációja⁶

Ezen felül neméghető anyagokkal való mechanikus eltakarás is szóba jöhet, ott, ahol a látszó faszervezetek esztétikai előnyeit nem kívánják érvényesíteni, például az épület gépészeti rendszereit rejtő belső terekben, vagy a fedélszékekben. A tűzállóságot fokozó elburkolás történhet tűzgátló gipszkarton vagy szilikáttal alapú hőszigetelő anyagok felhasználásával. Azonban ezek megoldások már túl mutatnak az égésgátlók kérdéskörén.

1.2 Égésgátlás, égéskésleltetés egyéb megoldásai

Az egyéb éghető anyagok előidézte tűzterjedés megfékezésének adekvát módozatai csakis a szilárd fázisú égés jelenségének mélyebb megértésén keresztül alakíthatók ki. Az ide sorolt égési folyamatok közben az égő anyagban különböző részfolyamatokhoz köthető átalakulási zónákat lehet megfigyelni. A leglátványosabb az égő anyag felületéhez közel a kis molekulájú bomlástermékek heves oxidációját mutató lángfázis, amely egy gázfázisban végbemenő diffúz égési reakció. Ezzel egyidejűleg a láng által termelt hősugárzás, illetve az égéstermékek konvektív hőátadása révén a anyag belseje felé mind mélyebbre hatolva terjed a hő. Egy adott pontjában megvizsgálva a jelenséget az idő előre haladtával egyre emelkedő hőmérsékleti értékek alakulnak ki. [16]

A felvett hő hatására az égő anyag belsejében az úgynevezett bomlási hőmérséklet elérését követően megindul a termikus bomlás folyamata, amely a felszíni lángjelenség tovább fejlődéséhez szükséges bomlási gázok keverékét szolgáltatja. Ezek a felszínre törve és a lángtérben a levegővel elkeveredve bekapcsolódnak az égés táplálásába. Az ezen részfolyamatok fizikai és kémiai kölcsönhatásainak fázisai közé „üket verve” megszüntethetjük az égés önfenntartó láncreakcióját, sőt akár már a kezdeti fázisban is kiiktathatjuk a kémiai kölcsönhatásokat beindító átalakulásokat.

⁶ Szerkesztette: a Szerző

Már magánál a gyújtóforrással való érintkezésnél is akár, ahogyan azt egy színházi függöny égéskésleltetésének szabványos vizsgálati eljárásának részleteit tükröző 6. ábra is bizonyítja.



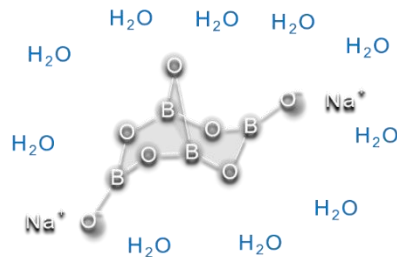
6. ábra: Égéskésleltetett textilá szabványos vizsgálati minősítése⁷

Az éghető szilárd anyagoknak az égési folyamatokba történő bekapcsolódásának megakadályozása tehát történhet kémiai vagy fizikai módszerekkel. Az alkalmazott égésgátló anyagok egyrészt kémiaiilag inaktíválják magát az éghető anyagot és magasabb gyulladási hőmérsékletet igénylő formába alakítják azt vagy a belőlük képződő bomlástermékek éghetőségét csökkentik az azokkal történő stabilabb kémiai kötések kialakításával, inhibíciójával. Ezen felül az éghető anyag termikus bomlását lassító karbonizált szigetelő réteget képező kémiai reakciók nyomán az ezen hőszigetelő felszíni réteg alatti éghető anyagok pirolízise később indulhat meg. Emellett léteznek a bomlástermékek égő felszínre való kijutását megakadályozó, az égő felszín megolvadva ömledékként folytonos szilárd kéreggel lefedő égésgátló anyagok. [17]

A korábban már érintett habréteget képező égésgátló szerek ugyancsak a hő hatására hőszigetelő illetve a bomlási gázokat visszatartó habréteget alakítanak ki. Az égésgátló szerek használatának másik, fizikai elvű módszerei közé sorolhatók a kis molekulatömegű inertgázok fejlesztése, amelyek a lángtérben jelenlévő bomlástermékek felhígításával, azok a relatív mennyiségét az éghetőségi koncentráció alá csökkentik. Ezen anyagok hatásosságát az következő sorrend szerint állíthatjuk fel:



A víz egyéb vegyületeket megelőző fokozott hatását érintően, elmondhatjuk, hogy magas fajhőjének tulajdoníthatóan a lángtérből elvont hő hűtőhatása miatt is hozzájárul a kezelt anyag égéskésleltetéséhez. Itt említést érdemlők a bór vegyületek, melyek igen jelentékeny mennyiségű megkötött vízmolekulákkal kristályosodnak, ahogyan azt a bórax alábbiakban a 7. ábrán látható strukturális szerkezete is mutatja.



7. ábra: Bórax molekuláris vízmegkötése⁸

⁷ A szerző saját vizsgálati eredményeit dokumentáló felvételek

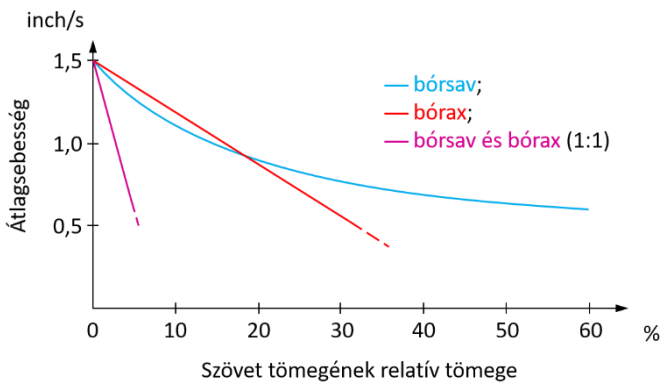
⁸ Szerkesztette: [18] nyomán a Szerző

Részben az itt tapasztalható vízvesztéshet működik a bórsav égéskésleltető szerepe. Hisz a vízmolekulák kilépését követően alakul ki a már korábban említett égő szilárd felszint ömledékként beborító üvegszerű réteg, melyet a 8. ábra szemléltet. [19]



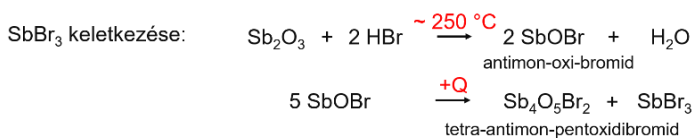
8. ábra: Ömledék képződése bórsavból⁹

Ebből is látható, hogy az égésgátló hatások olykor együttesen is jelentkeznek, növelve az éghető anyag tűzállóságát. Ennek jelentőségét emeli ki a 9. ábra, amely megmutatja, hogy a bórax és a bórsav együtt hatékonyabb, mint azok azonos mennyiségű, de önmagukban való használata. [20]

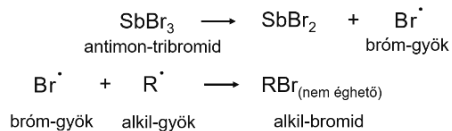


9. ábra: A lángterjedési sebességek összehasonlítása¹⁰

Ezek a kombinált hatások sok esetben nem csak a fizikai folyamatok terén tapasztalhatók, de a különféle vegyületek kémiai reakciói tekintetében is számottevően befolyásolhatják az égéskésleltetés hatásosságát. Ennek megfelelően az égéskésleltető anyagok korábbiakban áttekintett hatásmechanizmusai mellett szinergikus kémiai kölcsönhatásokat is azonosíthatunk. [21] Eklatáns



Lángban:



⁹ Szerkesztette: a Szerző

¹⁰ Szerkesztette: [20] nyomán a Szerző

példája ennek az antimon-trioxid¹¹ és a halogénidek egymás aktivitását felerősítő hatása.

1.3 Műanyagok égéskésleltetése

A műanyagok éghetőségét és az ezzel összefüggésben jelentkező tűzveszélyét döntően befolyásolja a kémiai szerkezetük. Azonban e tekintetben lényeges tényező, hogy a nagy molekulatömegű polimer struktúrát milyen monomerekből kiindulva és milyen reakciók segítségével felépítve alakítják ki azok láncait. Ugyanis minél több telítetlen kötést tartalmaz a végső polimerlánc, annál kedvezőbb lehet az égési folyamatokba történő bekapcsolódásuk. Azonban addíciós folyamatok segítségével kialakított telítettlen kötések éghetőségüket tekintve ezt könnyen módosíthatják. Az addíció révén halogénatomoknak minél nagyobb tömegarányú szénláchoz kapcsolása jelentősen csökkenti az éghetőséget. Ehhez hasonlóan az aromás gyűrűk vagy heterociklusos vegyületek megjelenése a polimerláncokban gyakorta hátráltatja az égési folyamat kifejlődését. A polimerizáció kiinduló alapvegyületei közötti kémiai kötésekkel képzett térhálós szerkezeti struktúrák ugyancsak ellenállóbakká teszik a tűzhatással szemben a műanyagokat.

Mindemellett fontos megjegyezni, hogy általánosságban a tűz kifejlődésébe történő bekapcsolódásuk nagyrészt jelentős füstfejlődéssel kísért. Továbbá a hőre lágyuló változataik vonatkozásában kijelölhető, hogy az egyéb természetes szilárd éghető anyagok többségétől eltérően az égési folyamatba való bekapcsolódásukhoz szükséges bomlástermékek megjelenését megelőzi az olvadék fázisba történő átmenet.

A tűz előidézte termikus változások hőmérsékleti határai a műanyagnál viszonylag alacsony, átlagosan 300-500 °C gyulladási hőmérsékleti tartományként határozható be. Ettől függetlenül a műanyagok éghetőségi és az ezekhez társuló egyéb termikus jellemzőik meglehetősen eltérőek lehetnek. Különösen az azok befolyásolására egyedi kémiai sajátosságaik alapján adalékolt égéskésleltető szerek következtében. Tulajdonképpen az égésgátlóknak a műanyagok égése során előidéztet változásair tesztvizsgálatokkal mutathatók ki. Az égésgátlókkal kezelt polimereket éghetőségi jelegzetességük eltéréseinek minősítésére szolgáló ASTM D 635 szabványban leírt UL-94 vizsgálati eljárás alapján öt csoportba¹² sorolhatjuk. A vizsgálati minták elrendezések belső és a próbatestek olvadékcsappeinek gyűjtőhatását is tekintetbe vevő szabványvizsgálat kellő alapot kínál az égésgátlók adott műanyag éghetőségének csökkentését érintő megfeleléségének megítélésére. [23] A leggyakoribb műanyagoknál alkalmazható égéskésleltető adalékok kategóriáit tekinti át az 1. táblázat. Fontos megjegyezni, hogy ezek adalékolt mennyisége jelentősen eltérhetnek vegyületenként.

¹¹ Az antimon-trioxidot lánggátló szerként használják, jóllehet maga nem égésgátló, de fokozza a szerves halogénidek gyökös mechanizmusú lánctörő inhibícióját. [21], [22]

¹² Szabványos kategóriák jelölései: HB (horizontális orientációban pozicionált próbatestnél); V0, V1, V2, 5VB, 5VA (vertikális orientációban pozicionált próbatesteknél)

1. táblázat Egyes műanyagok égésgátlóinak vegyülettípusai¹³

Égésgátló típusa	Poli-						Műgyanták
	etilén	propilén	sztírol	vinil-klorid	amid	uretán	
Alumínium-hidroxid	●	●		●		●	●
Antimon-oxidok	●	●	●	●	●		●
Bórvegyületek	●	●		●	●		●
Brómvegyületek	●	●	●		●		
Klórvegyületek	●	●		●	●		
Foszforvegyületek				●		●	●

1.4 Tűzoltó bevetési ruhák tűzállóságának minősítése

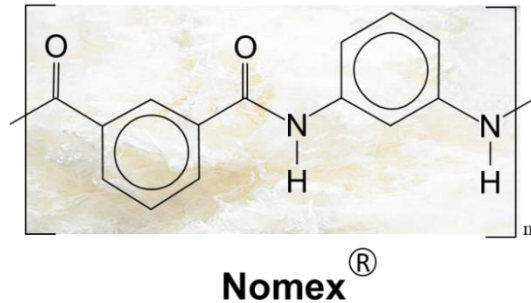
A műanyagok felhasználásának széles tárházát képezi a textilipar. A műszálak nem csak a textíliák alapanyagainak egyszerű bővülését hozták el, de az égésleltetés és így a tűzbiztonság szempontjából is jelentős változást hoztak. Miután a az így készült szövetek és nemkülönben a belőlük előállított ruházati termékek, már anyagukban implikálva tartalmazzák az égéskésleltető adalékokat. Ebből adódóan mára már a textíliák égésgátló anyagainak ökológiai szempontú követelményrendszere az Unió jogi eszközökben is megjelennek. Például az égéskésleltetői funkciók még a mosható termékeknel az előírt minimum „75 °C fokon végzett 50 ipari mosási és szárítógépes szárítási ciklus”, illetve „a nem mosható termékeknek áztatási vizsgálat után meg kell őrizniük funkcionálisukat.”¹⁴ [25]

Ennek céljára az egyik legelső mesterséges szálak sorában tudhatjuk a poliamid alapú nejlont. A poliamidok éghetőségét vizsgálva elmondható, hogy alapesetben nem tartoznak a heves égést mutató műanyagok közé. Mivel azonban intenzív olvadákképzéssel jár a folyamat az ebből készült ruházati termékek ráolvadnak a bőrfelületre, ezáltal viselőjükre nézve mégis komoly veszélyt jelentenek. Az ezen veszélyek kivédése érdekében végzett kísérletek igazolták, hogy a főláncba beépülő aromás gyűrűk előnyösen változtatták meg a tűzzel szembeni viselkedését a műszálnak. Az így képződő aramid szálak igen magas hőstabilitást kölcsönöznek a belőlük gyártott textíliáknak. Ráadásul egyéb kedvező tulajdonságok is szélesítették a felhasználásuk területeit. Így például a poli-parafenilén-tereftalamid képezte Kevlárszálak közismert mechanikai ellenállása a golyóálló mellények készítését is lehetővé tették.

¹³ Szerkesztette: Móczó [24] nyomán a Szerző

¹⁴ 2014/350/EU: Melléklet 4. A használatra való alkalmasságra vonatkozó kritériumok [25]

A szerkezetileg ehhez nagyon hasonló a 10-es ábrán bemutatott Nomex elnevezésű poli-meta-fenilén-izoftalamid felhasználása jelentős hastabilitása miatt a tűzoltó bevetési ruhák alapanyagául is szolgálnak. Köszönhető ez annak elsősorban, hogy a olvadási hőmérsékletük több mint 400 °C fölé emelkedik



10. ábra: Tűzoltó bevetési ruha és alapanyaga ¹⁵

Ilyenformán a védőruhák minősítésére kidolgozott szabványvizsgálatok között a kontakt hő mérés módszere mellett a hőforrásnak kitett ruházatból vett mintadarab ellentétes oldali hőmérsékletének méréset, valamint a nyílt lángatással szembeni viselkedés tesztelését is magában foglalja. [26], [27]

1.5 Funkciómegtartó kábelek égéskésleltetése

Szerves vegyületek lévén a műanyagok fontos jellemzőjük a villamos szigetelő tulajdonságuk. Ez alapozza meg, hogy egy másik igen jelentős alkalmazási területe a polimereknek a villamosipari és elektronikai eszközök gyártása. Tekintve, hogy a tűzvizsgálati statisztikák igazolják az elektromos vezetékek meghibásodásának fontosságát a tűzkezelési okok között, valamint a tűzfejlődésben is döntő szerepet tulajdonítanak ezen építési termékeknek. A tűzbiztonság vonatkozásában elengedhetetlen tehát, hogy a kábelszigetelések tűzhatásban történő viselkedését jellemzi tűzállósági teljesítményeit pontosan meghatározzuk szabványos minősítő vizsgálatokkal.

A tűzvédelem egy másik fontos területén, az aktív tűzvédelmi rendszereknél is kritérium a előírt tűzeseti működését szavatoló funkciómegtartás. Ezen kábelrendszereknél még jelentősebb az égéskésleltetett szigetelő anyagok használata. [28]

A jelenleg használt szabványos vizsgálati módszerek, amelyek az említett kábelek működésképeségének megtartását vizsgálják eredendően az égéskor bekövetkező és a tűzfejlődéshez köthető legfontosabb jellemzőket minősítik. Az ide sorolt füstképződést, a lángterjedést, illetve a szigetelőképeség elvesztését a vizsgálati paraméterek, mint az orientáció, gyújtóforrás és gyújtási idő, stb. viszonyrendszerében vizsgálják. [29]

A vizsgálatok eredménye alapján a kábelek besorolása az alábbiak szerinti kritériumokra figyelemmel történik:

— éghetőség szerint A_{ca}, B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca}, E_{ca}, F_{ca};

Kiegészítő jellemzők szerint:

— füstfejlesztés: s1, s2, s3,

¹⁵ Szerkesztette: a Szerző

- füstszűrőség: s1a, s1b,
- égve csepegés: d0, d1, d2,
- halogénsav-tartalom: a1, a2, a3.

A besorolás tűzvédelmi jellemzőit a kábelekre utaló alsóindexben feltüntetett „ca” jelölés használata alapján azonosíthatjuk. [30], [31], [32]

A szabványossági vizsgálat funkciómegtartás teljesülésének időtartam szerinti jellemzőihez igazodva 30, 60, 90 perc alpakategóriák különíthetők el. Azaz, ha ez a vizsgálat során 31 percrek adódik, akkor értelemszerűen csak a 30 perces előírt létesítési tűzvédelmi követelménynek feleltethető meg az adott építési termék. Természetesen a létesítésnél fontos, hogy ezeknek harmonizálnia kell rögzítő elemek és kábeltálcák és létrák szerkezeteinek tűzállósági teljesítménymutatóival. [28]

Az ezek kritériumok teljesítéséhez elengedhetetlen az égéskésleltetők kábelszigeteléshez való adalékolása, amely a halogénsav-tartalom kiegészítő kritérium megjelenéséből is kikövetkeztethető. A PVC szigetelésű kábeleknél foszfátészter égéskésleltetőkkel is találkozhatunk, melyek hatását antimon-oxidokkal fokozzák. A polietilén szigetelések éghetőségének csökkentésében jellemzően a már említett bróm és klór tartalmú égésgátlók kapnak szerepet.

Az éghetőségi szempontok tekintetében érdemes felhívni a figyelmet az oxigénindex¹⁶ jelentőségére. Mivel a legtöbb éghető anyag vizsgálata során az éghetőséget a levegőben található 21 tf%-os oxigéntartalom mellett határozzák meg, így eltérő koncentrációviszonyok esetén a neméghető minősítés ellenére az így minősített kábelszigetelések éghetőkké válnak, mint azt az Apolló 1 tragikus példája is jelzi. [33]

2. Konklúzió

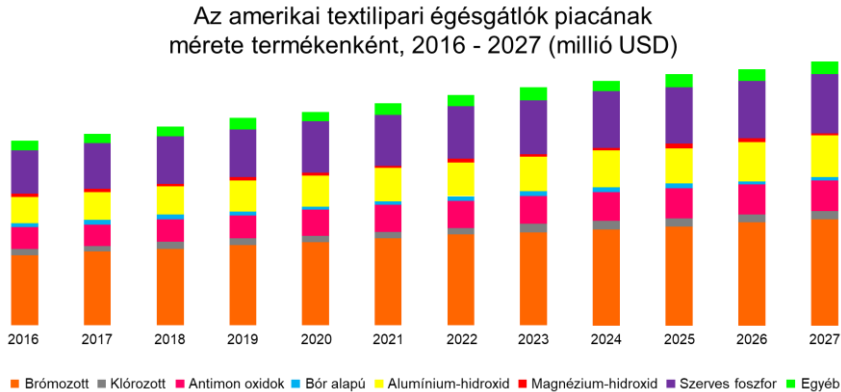
A műanyagok éghetőségének csökkentésében alacsony százalékban használnak égéskésleltető szereket. A modern égéskésleltető szereknél a fenntarthatóság és környezetvédelmi, valamint a fogyasztóvédelmi szempontok is érvényesítendőek, melyek garanciáit a vonatkozó jogi előírások teremtik meg. A napjainkban piacra kerülő égésgátlók közel 80 %-át a műanyagokat felhasználó iparágak használják fel. Ezek között az előzőleg említett kritériumoknak nem mindegyik égésgátló vegyület feleltethető meg. Ennek következtében nemzetközi fórumokon a brómozott égésgátlók közé tartozó HBCD¹⁷ betiltása terítékre került. Ezen kívül a PBDE¹⁸-vegyületekről is bebizonyosodott, hogy a „*pajzsmirigy termelte hormon működését befolyásolva károsíthatják az idegrendszer fejlődését*”. [34]

¹⁶ Oxigénindex (Limited Oxygen Index = LOI) az a minimális oxigén koncentráció, amelynél az éghető anyag még ég.

¹⁷ hexabrom-ciklododekán

¹⁸ polibromozott-difenil-éterek

Azonban az égéskésleltető szerek globális piacán várhatóan az egyéb kategóriák on túl ezek alkalmazásának a növekedésével számolhatunk, ahogyan azt a 11-es ábrán a textilipar bemutatott felhasználási ütemének változásai is prognosztizálják. A műanyagok égésgátlása és a halogén tartalmú adalékok háttérbe szorításának ellentmondása csak úgy oldható fel, ha ezeket valamilyen módon kiváltják.



11. ábra: Az égésgátlók textilipari felhasználásának trendje¹⁹

Ebben nagy szerepe van a modernebb anyagok, újabb technológiájú égéskésleltető anyagok felhasználásának. A fejlődés irányait illetően megállapítható, hogy egyre nagyobb érdeklődés kíséri a természetes égésgátló anyagok fejlesztésére irányuló kutatásokat. A növények termelte anyagok közül nem egy ígéretesnek tűnő vegyületet, olyanok mint például a hajdinában fellelhető 3,5-dihidroxi-benzoosav is felkeltette a kutatók figyelmét. [36]

Az ilyen és egyéb vegyületekkel folytatott kísérletekre alapozva várhatóan a jövőben az égésgátlók környezetbiztonsági kockázatai jelentősen csökkenthetők a tűzbiztonság fenntartása mellett.

¹⁹ Szerkesztette: [35] nyomán a Szerző

3. Hivatkozások

- [1] Antoine De Moor et al.: Excavating, Analysing, Reconstructing: Textiles of the First Millennium AD from Egypt and Neighbouring Countries, Tielt, 2017., ISBN: 978 94 014 4399 9, p. 260.;
- [2] Aulus Gellius: Attikai éjszakák, XV. Könyv, 15.1, Muraközy Gyula fordítása, Európa Könyvkiadó, 1968., Budapest,
- [3] Al-Mosawi, Ali I.: Flame retardants, their beginning, types, and environmental impact: a review. Építőanyag, A szilikátipari tudományok egyesület lapja, 74. évf., 1. szám, Pp. 2-8. ISSN 0013-970x, 2022., https://epitoanyag.org.hu/wp-content/uploads/2022/03/10.14382_epitoanyag-jsbcm.2022.1.pdf, (letöltve: 2023. 11. 14.);
- [4] Wyld, O.: Making or Preparing of Paper, Linen, Canvass and Such Like Substances, Which Will Neither Flame nor Retain Fire, and Which Hath Also a Property in it of Resisting Moisture and Damps. London. 1735., British Patent No.551;
- [5] Sági István et al.: A törvényszéki fogorvoslás történet, Kaleidoscope: Művelődés-Tudomány- És Orvostörténeti Folyóirat 10 : 18 pp. 291-300. , 10 p. (2019) DOI: 10.17107/KH.2019.18.291-300;
- [6] Förster Rezső: A malmok tetőszékeinek lángmentesítése, Malomujtság, 1940. 12. évf., 12. szám, 20. o. https://adt.arcanum.com/hu/view/BME_Malomujtság_1940/?query=1%C3%A1ngmentes%C3%ADt%C5%91&pg=147&layout=s, (letöltve: 2023. 12. 04.);
- [7] Faszerkezetek égését gátló (lángmentesítő) anyagok ideiglenes műszaki előírásai és vizsgálati feltételei: Honvédségi Közlöny a Magyar Királyi Honvédség számára, 1938 65. évf., 8. szám, 9. melléklet, https://adt.arcanum.com/hu/view/HonvedsegiKozlony_1938/?query=1%C3%A1ngmentes%C3%ADt%C5%91&pg=140&layout=s, (letöltve: 2023. 12. 04.);
- [8] Orion Market Research: Flame Retardant Market, 2019., Report Code: OMR2019982, <https://www.omrglobal.com/industry-reports/flame-retardant-market>, (letöltve: 2023. 12. 07.);
- [9] Maegan Burkhart: Flammability Tests for Fabric and Clothing Importers, 2019., <https://www.intouch-quality.com/blog/flammability-tests-for-fabric-and-clothing-importers>, (letöltve: 2023. 11. 10.);
- [10] Majorosné Lublós É. et al.: Méretezés tűzterhelésre az Eurocode szerint – Vasbeton, acél-, fa-, falazott és öszvérszerkezetek tervezése, ISBN 9786155445941, TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., Budapest, 2023., 143. o.;
- [11] Химическая Энциклопедия, в пяти томах, Издательства «Большая Российская Энциклопедия» Москва, 1995, т. 3, 1059. o.;
- [12] Yansu Hou et al.: Plant bio-inspired laminar cellulose-based foam with flame retardant, thermal insulation and excellent mechanical properties. J Mater Chem A. 2023; 11: 1138-1147., <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ta/d2ta07646b>, (Letöltve: 2023. 12. 11.);
- [13] M Green et al.: Introduction to the fire safety engineering of structures, The Institution of Structural Engineers, London, 2003., ISBN 0 901297 29 1, 42. o.,

- <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/36856/1/Introduction%20To%20The%20Fire%20Safety%20Engineering%20Of%20Structures.pdf>, (letöltve: 2022. 04. 11.);
- [14] E. Mikkola: Charring of wood based materials, Fire Safety Science, 3 (1991), pp. 547-556, 10.3801/iafss.fss.3-547, https://publications.iafss.org/publications/fss/3/547/view/fss_3-547.pdf, (letöltve: 2023. 12. 08.);
- [15] Morgan J. Hurley et al.: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA Massachusetts, 2016., ISBN 978-1-4939-2564-3, 1985. o.;
- [16] Sara McAllister et al: Fundamentals of Combustion Processes, Springer, London, 2011., ISBN 978-1-4419-7942-11, 52. o.;
- [17] Vivek B. Apte et al: Flammability Testing of Materials Used in Construction, Transport and Mining, Woodhead Publishing Limited, Abington 2006., ISBN-13 978-1-85573-935-2, 3. o.;
- [18] Király B. - Csupor K.: A kémiai faanyag- és tűzvédelem anyagai és keverékei, Tankönyv, Nyugat- magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 2012., ISBN 978-963-334-087-5, 82. o.;
- [19] Pál Károlyné - Macskásy H.: A műanyagok éghetősége. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980., ISBN 963-10-3179-9, 340. o.;
- [20] National Fire Codes 11, A COMPILATION OF NFPA CODES, STANDARDS, RECOMMENDED PRACTICES AND MANUALS, 1976., 701-27 o.;
- [21] Gächter - Müller : Műanyagadalékok zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989, ISBN 963-10-7253-3, 512. o.;
- [22] Fölkl R. et al.: Munkaegészségügyi és Munkavédelmi Enciklopédia, Budapest 1987., 1. kötet, ISBN 963-592-432-1, 140. o.;
- [23] Beda L, Kerekes Zs.: Égés-és oltásmélet II., jegyzet, Ybl Miklós Műszaki Főiskolai Kar, SZIE, 2006.;
- [24] Móczó J.: Égésgátlók előadás, BME, (letöltve: 2022. 10. 22.);
- [25] 2014/350/EU: A Bizottság határozata a textiltermékek uniós öko címkéjének odaitélésére vonatkozó ökológiai kritériumok megállapításáról, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014D0350&from=EN#d1e32-48-1>, (letöltve: 2023. 12. 13.);
- [26] MSZ EN ISO 12127-1: Ruházat hő és láng elleni védelemhez. A kontakthőátvitel meghatározása védőruházaton vagy annak összetevő anyagain. 1. rész: Fűtött henger által előállított kontakthő;
- [27] MSZ EN ISO 9151:2017: Védőruházat hő és láng ellen. A láng általi hőátvitel meghatározása;
- [28] Krepuska András István - Nagy Rudolf: Study of the technical requirements of functionality retention cable systems: Védelem Tudomány VII. 2. (2022), <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13613/11039>, ISSN: 2498-6194, pp. 65-82.;
- [29] Kruppa, Attila: Villamos vezetékrendszerek tűzvédelme, OBO Bettermann Kft., 2013, 42. o.;
- [30] MSZ EN 50399: Égetésnek kitett kábelek és vezetékek közös vizsgálati mód-szerei.

Kábelek és vezetékek hő- és füst kibocsátásának mérése a lángterjedési vizsgálat során. Vizsgálóberendezés, vizsgálati eljárások, eredmények;

- [31] MSZ EN 60332-1-2: Villamos és fényvezető kábelek és vezetékek égetési vizsgálatai. 1-2. rész: Egyedül álló szigetelt vezeték vagy kábel függőleges lángterjedési vizsgálata. Vizsgálati eljárás 1 kW-os előkevert lánggal;
- [32] MSZ EN 61034-2: Meghatározott körülmények között égő kábelek és vezetékek füstsűrűségének mérése. 2. rész: Vizsgálati eljárás és követelmények;
- [33] Barna Péter, Nagy Rudolf: AZ APOLLO 1 ŰRHAJÓ TÚZESETE, Repüléstudományi Közlemények, 2018. 30 2, ISSN 1789-770X (Online), pp 225-247;
- [34] Nemzeti Népegészségügyi Központ: MIT KELL TUDNUNK AZ ÉGÉSGÁTÓKRÓL?, <https://www.nnk.gov.hu/index.php/nnk-projektek/human-biomonitoring/egesgatlok>, (letöltve: 2023. 12. 13.);
- [35] Grand View Research: Textile Flame Retardants Market Size & Share Report, 2030: Report Overview, Report ID: GVR-4-68038-485-7, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/textile-flame-retardants-market>, (letöltve: 2023. 11. 01.);
- [36] American Chemical Society: Flame retardants — from plants, 2019., <https://www.acs.org/pressroom/newsreleases/2019/august/flame-retardants-from-plants.html>, (letöltve: 2023. 11. 03.);



Brinell és Vickers keménységmérés során kialakuló hidrosztatikus mag és képlékeny zóna jellemzése

Comparison of the hydrostatic core and the plastic deformation zone in Brinell and Vickers hardness tests

^{1,2}F. Oláh, ¹M. Réger, ^{1*}R. Horváth

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, H1081, Népszínház u. 8., Hungary

² Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Óbudai Egyetem, Budapest

* horvath.richard@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Egy keménységmérési lenyomat esetén a lenyomat alatt a terhelés hatására hidrosztatikus mag és képlékeny zóna alakul ki. A hidrosztatikus mag és a képlékeny zóna méretét valamint azok alakját a vizsgált anyag, a terhelő erő valamint az indenter alakja nagyban befolyásolja. Ebben a tanulmányban részletesen vizsgáljuk egy azonos terhelésen végzett, azonos (bilinieáris) felkeményedő anyagmodellrel felvett Brinell és Vickers keménységmérés közben kialakuló hidrosztatikus mag és képlékeny zóna jellemzőit végeeselemes módszerrel ANSYS környezetben.

Kulcs szavak: VEM, Vickers, Keménység, ANSYS

Abstract

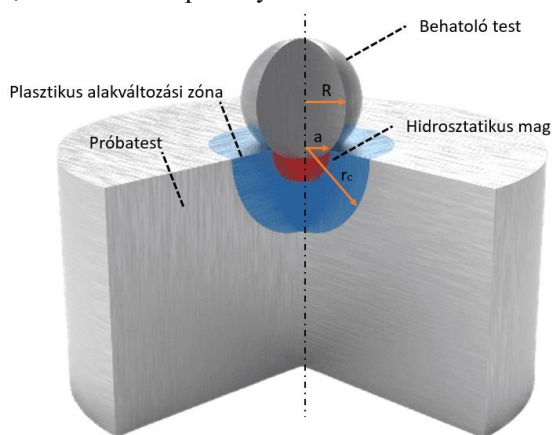
In case of a hardness testing a hydrostatic core and plastic deformation zones are formed which are influenced by the material and the indentation. The shape and the size of the indenter is mostly given by the different procedures. In this study, the hydrostatic core and plastic deformation zone characteristics formed during Brinell and Vickers hardness are investigated in detail using a finite element method in an ANSYS environment. The details of the FEA in case of the load and the material models are the same in the different setups.

Keywords: FEA, Vickers, Hardness, Ansys

1. Bevezetés

A keménységmérés során, terheléskor az indenter alatt létrejövő viszonyok a gömb alakúnak feltételezett üreg tágulásának mechanikai modelljével írhatók le. A keménységmérés során a benyomódás (indentáció) elméletét Bishop és tsi. [1] vizsgálták az elsők között. Az indenter alatt létrejövő hidrosztatikus mag és képlékeny zóna (1. ábra) kialakulásával és leírásával Johnson [Johnson] foglalkozott. A terhelés hatására növekvő üreg modelljében (expanding cavity model) azt feltételezte, hogy az indenter alatt a terhelés során egy félgömb alakú hidrosztatikus feszültségi állapotú zóna, ún. „hidrosztatikus mag” jön létre. Emellett a hidrosztatikus mag körül pedig egy képlékeny alakváltozási zóna jön létre, ahol a feszültségek és elmozdulások sugárirányú szimmetriával jellemezhetők. A keménységmérés során a hidrosztatikus és képlékeny zóna mérete a terhelés fokozásával növekszik. Ebben a megközelítésben a hidrosztatikus mag alapvetően

terhelésátadó szerepet játszik. A terhelést pedig a nyomás hatására deformálódó képlékeny zóna veszi fel. Az 1. ábra egy gömbszerű behatoló test alatt (Brinell-keménységvizsgálat) kialakuló viszonyokat szemlélteti. A képlékeny zóna ismerete igen fontos, hiszen többek között lehetővé teszi például a folyáshatár meghatározását, valamint például a vékony bevonati rétegek befolyásoló hatásának meghatározását az indentáció során [5]. Johnson modellje tehát [2] összefüggést ad a keménység, a hidrosztatikus mag, a képlékeny zóna mérete, valamint az anyag rugalmas–képlékeny mechanikai tulajdonságai között. A Johnson majd később Lawn és tsi. további munkájával lehetővé vált a képlékeny zóna méretének (1. ábra) előrejelzése is [2] [6]. Az indentáció során létrejövő hidrosztatikus mag és plasztikus zóna mérete nagyban függ az indenter geometriai sajátosságaitól is. Ebben a cikkben azonos körülmények között mért Brinell (gömbszerű indenter) és Vickers (gúla alakú indenter) lenyomatokat vizsgálunk részletesen végeselemes módszerrel, melyet valós keménységmérési lenyomatokkal validáltunk. Az összehasonlítás során vizsgáljuk a hidrosztatikus magok méretét alakját, hasonlóan a képlékeny zóna esetében is.



1. ábra Gömbszerű (Brinell) indenter alatt kialakuló hidrosztatikus mag, valamint a képlékeny és rugalmas zónák ábrázolása [2] [3] [4]

2. Anyagok és módszerek

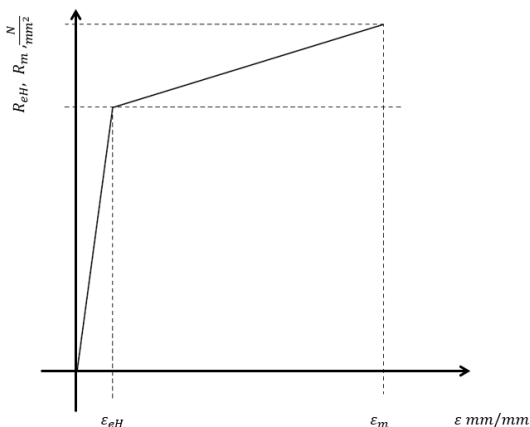
A vizsgálatokat S235JR (1.0045) jelű szerkezeti acélon végeztük 30 és 187,5 kg-os terheléssel Brinell [7] és Vickers [8] indenterek esetén. A kapott lenyomatokból, indentációs mélységből validálható az Ansys környezetben történő végeselemes modellezés. A végeselemes modellezéshez úgynevezett bilineáris (felkeményedő) anyagmodellt alkalmaztunk (2. ábra) – a keményedési modulus a folyáshatár és a szakítószilárdság között húzott egyenes meredeksége [9] –, melynek értékeit előzetesen három szakítóvizsgálat átlagaiból határoztuk meg. A vizsgált anyag folyáshatára $\sigma_{ys} = 332 \pm 2,3$ MPa, valamint a szakító szilárdsága $\sigma_m = 590,4 \pm 6,9$ MPa. A rugalmassági és keményedési (tangens) modulust a feszültség és alakváltozás összetartozó értékei alapján számítottuk ki az alábbi módon:

$$E = \frac{\sigma_{ys}}{\varepsilon_{ys}} \quad (1)$$

$$E_T = \frac{\sigma_m - \sigma_{ys}}{\varepsilon_m - \varepsilon_{ys}} \quad (2)$$

ahol, E = rugalmassági modulus, MPa; σ_{ys} = folyáshatár, MPa; ε_{ys} = rugalmas alakváltozás a folyás pillanatáig, mm; E_T = tangens modulus, MPa; σ_m = szakítószilárdság, MPa; ε_m =

szakítószilárdsághoz tartozó alakváltozás, mm.



2. ábra A végeselemes környezetben alkalmazott bilineáris felkeményedő modell

A végeselemes ANSYS környezetben a Vickers keménységmérés geometriai sajátosságai miatt mindenképpen szükséges volt 3D testek létrehozása. Azaz, ebben az esetben a 2D leképezés nem volt kivitelezhető, ennek megfelelően mindkét esetben tégnyedek kerültek modellezésre, mivel így összehasonlítható módon vizsgálható a Brinell és a Vickers indentáció. A hálózás során a Vickers esetben a gúla csúcsának 2 mm-es környezetében 0,05 mm-es tetraédes háló került kialakításra, mely bár nagyobb számítási kapacitást igényel, mint a hexaédes hálózás, de több pontban vizsgálja a feszültségeket. A Brinell mérés esetén az érintkezés 1 mm-es környezetében lett beállítva 0,01 mm-es hexaédes hálózás, mely így a hálózás finomságát növelte.

Az indentáció közben létrejövő terhelés a képlékeny zónában okoz elsősorban maradó alakváltozást. Ennek megfelelően terhelt állapotban a végeselemes modell csomópontjaiban adódó feszültségi és alakváltozási állapotok alapján definiálható a hidrosztatikus mag (3) és képlékeny zóna (4) az alábbiak szerint:

A hidrosztatikus mag az a térfogat, ahol a terheléskor a végeselemes modell csomópontjaiban adódó feszültségtenzor (I_1) első skalár invariánsa nagyobb, mint az anyag folyáshatára, vagyis az alábbi feltétel teljesül [11]:

$$I_1 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \geq \sigma_{ys} \quad (3)$$

ahol, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – a végeselemes csomópontokban lévő a feszültségtenzor főátlóinak értékei, MPa.

A képlékeny alakváltozási zóna definiálható azon csomópontok összességéből, amelyek a maximális terheléskor képlékeny alakváltozással rendelkeznek, vagyis az alábbi egyenlet teljesül [10]:

$$\epsilon_0^P = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(\epsilon_x^P - \epsilon_y^P)^2 + (\epsilon_y^P - \epsilon_z^P)^2 + (\epsilon_z^P - \epsilon_x^P)^2 + 6(\epsilon_{xy}^P)^2 + 6(\epsilon_{yz}^P)^2 + 6(\epsilon_{xz}^P)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 0 \quad (4)$$

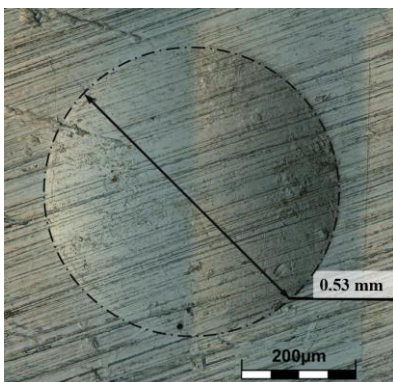
ahol, ϵ_0^P = egyenértékű képlékeny alakváltozás, mm; $\epsilon_x^P, \epsilon_y^P, \epsilon_z^P, \epsilon_{xy}^P, \epsilon_{yz}^P, \epsilon_{xz}^P$ = a képlékeny alakváltozási tenzor összetevői, mm.

A vizsgálatok során fontos szerepet játszik az így kialakult zónák térfogatának meghatározása (V_h – hidrosztatikus mag, mm³ és V_p – plasztikus zóna, mm³).

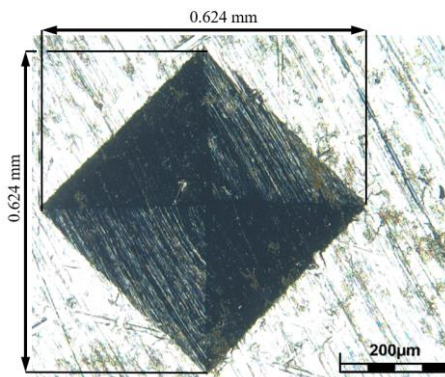
3. Brinell és Vickers keménységmérések jellemzői

A 30 és 187,5 kg-os lenyomatok felülnézeti képét ismerteti a 3. ábra. A Brinell esetben többszöri mérést követően a lenyomat átmérőjének az átlaga 0,53 és 1,23 mm-re adódik. A Vickers mérés esetén az átlók többszöri mérés átlagolását követően 0,624 és 1,535 mm-re adódtak.

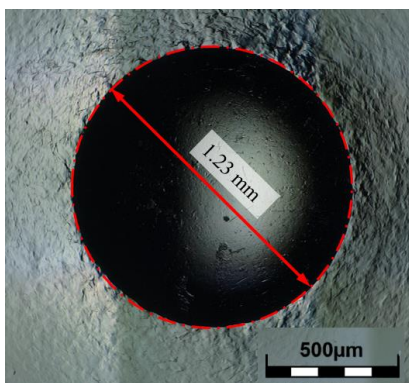
A mikroszkóppal készített felvételekkel a lenyomatokat 3D-ben is lehetőség volt megvizsgálni, mellyel a lenyomat mélysége is meghatározható, valamint a geometriai számításokat is figyelembe véve a beállított mélységek a szoftverben Brinell esetén 0,03 és 0,162 mm, valamint Vickers esetén 0,084 és 0,21 mm.



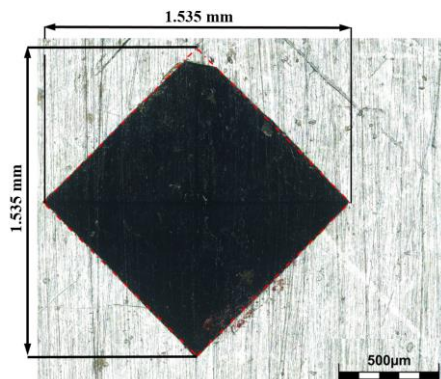
Brinell indentációs lenyomat 30 kg terhelés esetén



Vickers indentációs lenyomat 30 kg terhelés esetén



Brinell indentációs lenyomat 187,5 kg terhelés esetén



Vickers indentációs lenyomat 187,5 kg terhelés esetén

3. Ábra Brinell és Vickers lenyomatok felülnézeti képe

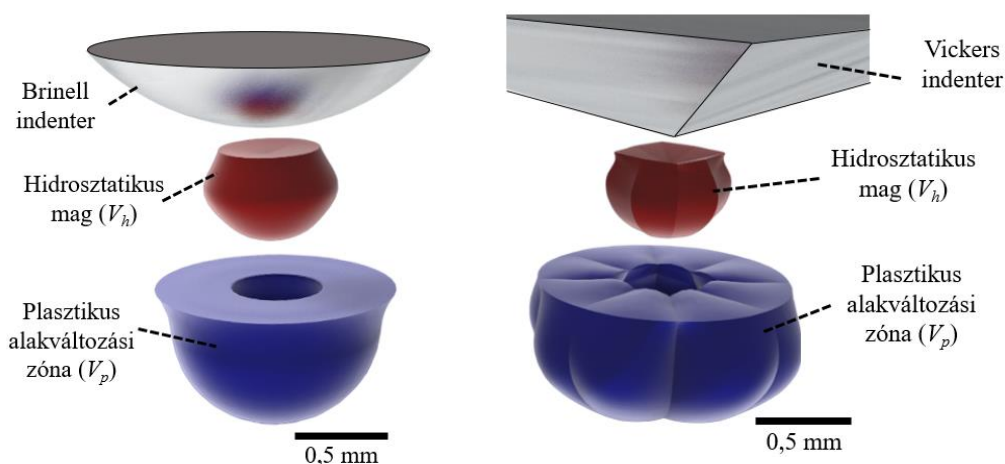
4. Hidrosztatikus mag és képlékeny zóna elemzése Ansys környezetben

A végesesemes szimulációk során kialakult zónák térfogatát az 1. táblázat foglalja össze, mely továbbá a kialakult zónák arányát is tartalmazza.

Table 2. Táblázat Brinell és Vickers lenyomatok alatt kialakuló zónák térfogatai.

	Terhelés, 30 kg		Terhelés, 187,5 kg	
	HB	HV	HB	HV
V_h, mm^3	0.165	0.105	3.06	1.916
V_p, mm^3	0.729	1.086	17.26	14.922
V_h/V_p	4.4	10.3	5.64	7.78

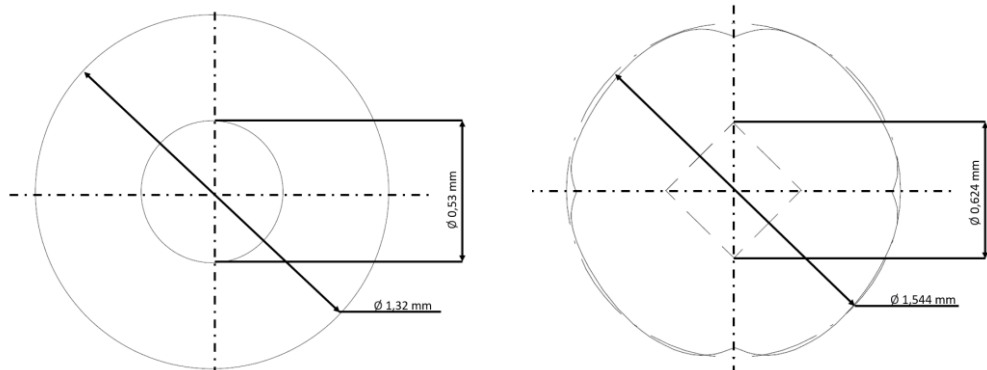
Az eltérés a kialakult zónákban több okból is fakadhat. A felvett adatokból látható, hogy a Vickers keménység esetén nagyobb elmozdulásra volt szükség ugyanakkora terhelés felvételéhez, valamint a kapott alakváltozási térfogattól jól láthatóak az alaki eltérések. A Vickers mérés során egyértelmű, hogy az élek és lapok mentén más a feszültegeloszlás, ezért a maradó alakváltozást szenvedő rész nagyobb kitéremkedő részekkel rendelkezik, míg a Brinell esetén a körszimmetrikus eloszlás egyenletesebb terhelésátadást eredményez, ezért vélhetőleg kisebb elnyelőréssz is elégséges számára. Ezeket a kialakult zónákat a 4. ábra mutatja be.



4. Ábra Kialakuló zónák 30 kg-s terhelés esetén

5. Indentációs lenyomatok közötti távolság vizsgálata

Az egymást követő keménységmérések távolságát szabvány írja elő [ISO 6506-1 – Brinell eljárás esetén, ISO6507 – Vickers eljárás esetén]. A szabvány a mintadarab szélétől a várható lenyomat 2,5-szeresét a lenyomatok között pedig általában a lenyomat átlói vagy átmérőjének 3-szorosát írja elő. A végeelemes vizsgálatok eredményei alapján a kialakult lenyomatok és a körülöttük maximális szélességben vizsgált alakváltozási zóna méretéből ellenőrizhető ez az ajánlás. A lenyomatok felülnézeti képei és az alakváltozási zóna maximális kontúrja alapján (5. ábra) azok arányai mindkét esetben $\sim 2,5$ értékűek (Brinell lenyomat átmérője: 0,53 mm, az alakváltozási zóna átmérője: 1,32 mm; Vickers átlók: 0,624 mm, az alakváltozási zóna köré írható kör átmérője: 1,544 mm). A végeelemes szimulációkból kapott eredmények is megerősítik a szabvány lenyomatok közötti távolságainak ajánlását.



Brinell lenyomat és alakváltozási zóna 30 kg-s terhelés esetén

Vickers lenyomat és alakváltozási zóna 30 kg-s terhelés esetén

5. ábra Lenyomatok alatt kialakuló alakváltozási zóna maximális értéke

6. Konklúzió

Ebben a cikkben azonos anyagon, kétféle azonos terheléssel felvett Brinell és Vickers lenyomatokból vaiddált végeeselemes szimulációt végeztünk annak megállapítására, hogy az eltérő geometriájú indenterek alatt, milyen jellegű hidrosztatikus és plasztikus zóna alakul ki. A kialakult zónákat a térfogatukkal valamint azok arányával jellemeztük. A végeeselemes vizsgálatok során úgynevezett bilineáris felkeményedő anyagmodellt használtunk mely a vizsgált acél valós folyáshatárából és szakítószilárdságából lett meghatározva. A szimulációk alapján megállapítható, hogy a végeeselemes modellezéssel az indenter alatti jellemzők jól definiálhatóak, valamint a Vickers eljárás esetén a hidrosztatikus mag és a plasztikus zóna aránya minden terhelési esetben nagyobb adódik, a geometriai adottságokból kifolyólag, valamint a plasztikus zónák méretei alapján a végeeselemes modellezés eredményei is igazolták a lenyomatok közötti ajánlott távolságok értékét.

Köszönetnyilvánítás

Támogatta a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-3 Új Nemzeti Kiválósági Programja a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap forrásából.

A kutatást a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00129 számú projekt támogatta. A szerzők köszönetet mondanak a munka pénzügyi támogatásáért a magyar-japán kétoldalú projektnek (2019-2.1.11-TÉT-2020-00204.)

7. Hivatkozások

- [1] Bishop, R. F., Hill, R., & Mott, N. F. (1945). The theory of indentation and hardness tests. *Proceedings of the Physical Society*, 57(3), 147. <https://doi.org/10.1088/0959-5309/57/3/301>
- [2] Johnson, K. L. (1970). The correlation of indentation experiments. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 18(2), 115-126. <https://doi.org/10.1016/0022->

5096(70)90029-3

- [3] Marsh, D. (1964). Plastic flow in glass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 279(1378), 420-435. <https://doi.org/10.1098/rspa.1964.0114>
- [4] Tabor, D. (1970). The hardness of solids. Review of physics in technology, 1(3), 145. <https://doi.org/10.1088/0034-6683/1/3/I01>
- [5] Mata, M., Casals, O., & Alcalá, J. (2006). The plastic zone size in indentation experiments: The analogy with the expansion of a spherical cavity. International Journal of Solids and Structures, 43(20), 5994-6013. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.07.002>
- [6] Lawn, B. R., Evans, A. G., & Marshall, D. B. (1980). Elastic/plastic indentation damage in ceramics: the median/radial crack system. Journal of the American Ceramic Society, 63(9-10), 574-581. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1980.tb10768.x>
- [7] ISO 6506-1: Metallic materials – Brinell hardness test Part 1: Test method
- [8] ISO 6507-1: Metallic Materials – Vickers Hardness Test – Part 1: Test method
- [9] Amlashi, H. K., & Moan, T. (2008). Ultimate strength analysis of a bulk carrier hull girder under alternate hold loading condition—A case study: Part 1: Nonlinear finite element modelling and ultimate hull girder capacity. Marine structures, 21(4), 327-352. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2007.12.006>
- [10] Mendelson, A. (1983). Plasticity: theory and application. Krieger Publishing Company.
- [11] Rusinko, A., Rusinko, K., Rusinko, A., & Rusinko, K. (2011). Classical Theories of Plasticity. Plasticity and Creep of Metals, 1-100. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21213-0_1



Hőkamera alkalmazásának lehetőségei alkatrészek meghibásodásának előrejelzésében

The possibilities of applying thermal cameras in predicting component failures.

¹Pintér Péter, ²Dr. Szabó József Zoltán,

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Kar, MEI, Budapest, Magyarország
pinter.petterm@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Kar, MEI, Budapest, Magyarország

Összefoglalás

A hőkamerák használata nagyon széleskörű. Az egyik legfontosabb az ipari alkalmazás. Szerszámgépeknél a diagnosztikában is jelentős szerepe van. Ezzel az új diagnosztikai eljárás segítségével hosszabb távon egy költséghatékony és korszerűbb javítási rendszer kialakítására van lehetőség. Erre néhány példa is szerepel a tanulmányban. A diagnosztikai rendszer alaposabb vizsgálatokat tesz lehetővé ha rezgésdiagnosztikával kombináljuk. Pontosabban, és biztosabban meg lehet határozni a meghibásodás helyét a két rendszer együttes használatával. Másik felhasználása a pneumatikus rendszerek vizsgálatánál lehetséges, a PNEU műhelyben elkészített levegő hajtású járművek szivárgásának a felderítésére, amivel a veszteségeket lehet csökkenteni.

Kulcs szavak: Hőkamera, diagnosztika, rezgésvizsgálat, pneumatika, Pneumobil

Abstract

A thermal cameras have a very wide range of uses. One of the most important applications is in the industrial sector. In the diagnostics of machine tools, it plays a significant role. With the help of this new diagnostic procedure, it is possible to establish a cost-effective and more modern repair system in the long run. The study includes several examples of this. The diagnostic system enables more thorough examinations when combined with vibration diagnostics. More precisely and reliably, the location of a malfunction can be determined by using both systems together. Another application is possible in the examination of pneumatic systems, where it can be used to detect leaks in air-driven vehicles produced in the PNEU workshop, thus reducing losses.

Keywords: thermal cameras, vibration analysis, diagnostic, pneumatic system, Pneumobil

1. Bevezetés

Hőmérsékleten alapuló mérési eljárások, képek készítése már 1800-as években elkezdődött. Úgynevezett termográfot, ami az első hőméréklet alapú képalkotási eljárásnak nevezhetünk 1840-es években Sir John Herschel dolgozta ki, olajréteg differenciált párologtatásával. Langley 1880-ban már elkészítette a bolométert, ami már a mai hőkamerák alapjainak tekinthető, ebben a szerkezetben platina-csíkok és egy galvanométer is megtalálható volt, ami a fém vezetőképeségének változását mérte. Maga az infravörös megnevezés William Herschel nevéhez fűződik, a Nap megfigyelésénél tapasztalta, hogy különböző színezett üvegeken keresztül máshogy melegíti fel a az alá helyezett tárgyakat.

A termográfia az úgynevezett érintésmentes hőmérékletmérési eljárás, ami alapján az infravörös sugárzásból egy Hamis-színes képet állít elő a berendezés. A tárgy hőmérséklete szoros összefüggésben van a sugárzásával. A mérési eredményeket befolyásoló egyik legfontosabb érték a tárgy emissziós tényezője. Az emissziós tényező, ami a sugárzást elnyelő és egyben a sugrást kibocsájtó képességéről ad a tárgynak egy mérőszámot. Ezt az elnyelő képességét az abszolút fekete testhez viszonyítják, aminek a legnagyobb értéke 1 lehet. Ennek a tulajdonságnak az egyik magyarázatát Kirchhof törvénye [1] adja meg ami a test sugárzást elnyelő képesség és a sugárzást kibocsájtó képesség összefüggését definiálja, a másik ilyen törvény a Planck féle ami a test elektromágneses sugárzása és hőmérséklete közötti összefüggést adja meg. Az emissziós tényező értékét a környezet és a tárgy tulajdonságai is befolyásolják, ezért ennek pontos ismerete nagyon fontos a mérés pontosságá szempontjából.

2. Az infravörös kamera használata

Infravörös kamerák három sugárzási tartományban dolgozhatnak. Ebből a két tartomány a Közép-IR és a Távoli -IR, ami a leggyakrabban alkalmazott. Ennek a két tartománynak a felhasználásában van lényeges különbség. Az közép sugárzási tartományt használó eszközök képesek akár üvegen keresztül is jól érzékelni a hőmérsékletet, azonban a levegő hatásaira rendkívül érzékeny. A távoli IR-t használó eszközök már üvegen keresztül sem érzékelik jól a hőmérsékletet, ellenben a levegő változásaira nem érzékeny, sokkal jobban használhatóak a gyakorlatban.

A mérésekhez mindig a megfelelő hullámhosszú kamera megválasztása a lényeg. Befolyásoló tényező lehet a levegő hőméréklete, nedvességtartalma, por, zavaró sugárforrások.

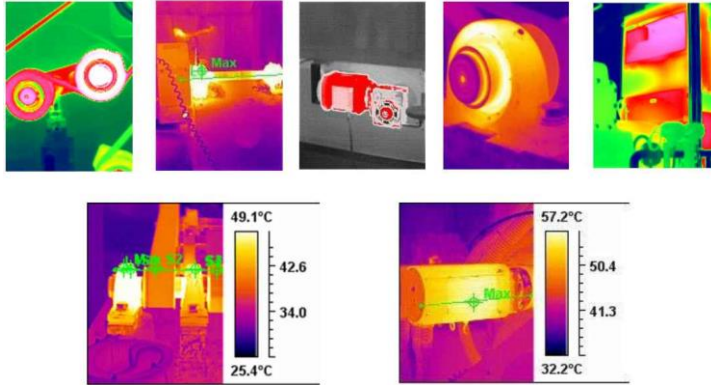
Jellemzően az iparban a hosszú hullámhosszú kamerák alkalmazása az elterjedtebb. Abban az esetben amikor a spektrális emissziót is figyelembe kell venni, inkább rövid hullámhosszú kamerák alkalmazása szükséges.

2.1 Infravörös kamera alkalmazási területei

Kezedetekben természetesen a katonai célokra történő alkalmazás volt a jellemző. Mivel ezek nagyok és esetlenek voltak, egy részük pedig csak gépjárműre szerelten lehetett mozgatni. A legelső gyártó a Mitsubishi volt. Majd a JEOL is elkezdte gyártani. Az AGA kezdte el gyártani 1965-től az első polgári felhasználású kamerákat. Majd 1970-es évektől a hűtés nélküli detektortechnológia fejlesztésébe a Raytheon és a Honeywell cégek kezdtek bele és értek el sikereket.

Számos területen alkalmazzák azóta ezeket az eszközöket:

Orvoslás, Állattenyésztés, Hőszigetelések vizsgálata, Kohászati mérések, Környezetvédelem, Mozdgó tárgyak megfigyelése, Gépészeti berendezések felmérése, Biztonágtechnika.



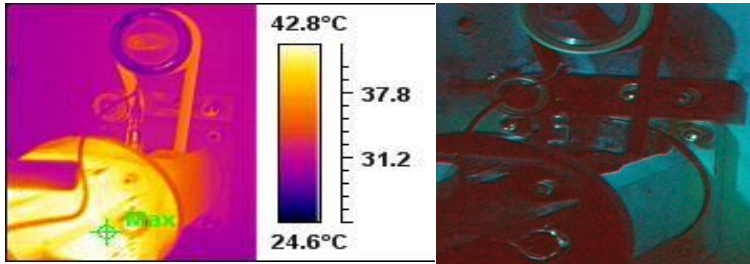
1. ábra Hőkamera alkalmazásának lehetőségei [2]

3. Hőkamera alkalmazása konkrét esetekben

Az alábbi esetekben bemutatásra kerül, néhány hőkamerás diagnosztikai mérés. A mérés a Mobir M4 hosszúhullámú (8-14 microméteres) FPA mátrix detektoros hőkamrával történtek.

A kamera hőmérsékletfelbontása 0.12 K, 16-bit-es hőképtárolásra alkalmas. Beépített vizuális kamerával rendelkezik. Nagy memória kapacitása van 8Gbite. Kompakt kivitel, kis méretű, és súlyú. Könnyen és gyorsan kezelhető, usb-csatlakoztatási lehetőséggel bír.

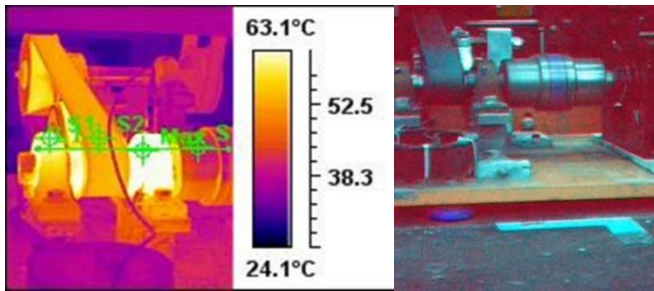
3.1 Fogazott szíj vizsgálata



2. ábra Fogazott szíj melegedése [3]

Az 2. ábrán jól látható melyik helyeken melegszik a szíj. Nagyon jól alkalmazható folyamatos felügyeletre is a hőkamerás megfigyelés, de ugyanakkor időszakos vizsgálatokhoz is megfelelő.

3.2 Gördülőcsapágó kopásának kimutatása



3. ábra Gördülőcsapágó melegedése [3]

Adott berendezésen a havi rendszerességgel végzett hőkamerás felvétel kiugróan magas mjelegedést mutatott, a főmotornál. A berendezésen a rezgésméréssel történő vizsgálat nem mutatott kritikusán kiemelkedő eltérést, még minden a normál tartományban mozgott. Azonban a hőképes vizsgálatoknál értelműnek tűnt a kiugró érték alapján, hogy nagymértékű a súrlódás, ami tönkremenetelt eredményezhet. A cseréje a hőkép alapján elkerülhetetlen volt. A javaslat ellenére további plusz kenőanyag hozzáadásával próbálták a cégnél orvosolni a problémát, ami a túlzott anyagmennyiség miatt még nagyobb hőterhelést okozott több mint 100 C fölé ment a csapágó hőmérséklete. A csere megtörténte után, a melegedés nem szűnt meg, mint utóbb kiderült a tengely beállítás nem volt megfelelő. Miután ezt is elvégezték a csapágó hőterhelése visszatért a normál állapotba.

Ebből is látható, hogy a hőkamerás vizsgálatok, még a rezgésdiagnosztikai riasztás előtt képesek kimutatni több esetben is a meghibásodás közeledtét. Előny, hogy megbontás nélkül lehet vizsgálni üzem közben az elkatrészeket, akár folyamatos monitorzásal is.

4. Hőkamera alkalmazásának lehetősége pneumatikus rendszerekben

A pneumatikus rendszerek széles körben alkalmazott technológiák a gyártási folyamatokban és automatizálási rendszerekben. Azonban a rendszeres használat és a hosszú üzemidő során a szivárgások problémái gyakran előfordulnak. Ezek a szivárgások nemcsak a hatékonyság csökkenését eredményezik, hanem pénzügyi veszteségeket is okozhatnak. Ezen kihívások kezelésére a hőkamera alkalmazása egy hatékony és precíz módszer lehet.

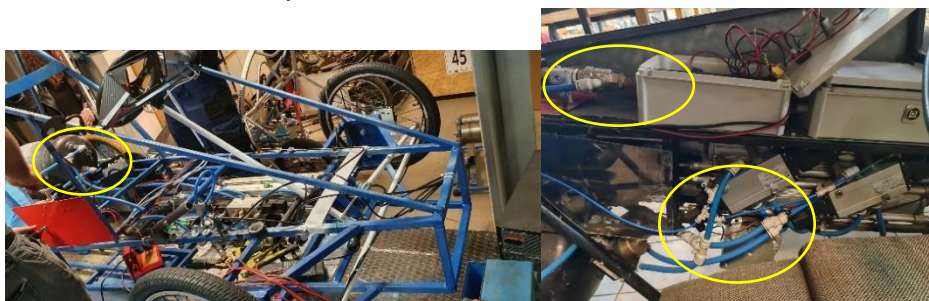
4.1 Hőkamera alkalmazása szivárgások detektálására

A hőkamera által rögzített infravörös képek alapján a hidegebb területek pontosan azonosíthatók, ahol a szivárgások valószínűsíthetően előfordulnak. Ezek a pontok lehetnek csatlakozók, szelepek, tömítések vagy egyéb alkatrészek, amelyek nem megfelelően zárják le a rendszert. A hőkamera segítségével ezeket a hidegebb területeket gyorsan és hatékonyan beazonosíthatjuk.

4.2 A hidegebb területek azonosítása és értelmezése:

Az ilyen típusú szivárgások detektálásának folyamata gyorsabbá válik a hőkamera alkalmazásával, és minimalizálhatók az időigényes manuális ellenőrzések. Azonban fontos megjegyezni, hogy a környezeti tényezők, például a hőmérséklet és páratartalom változása befolyásolhatja a mérési eredményeket. Ezért szükséges az alkalmazás során a környezeti tényezők

figyelembevétele és az eredmények értelmezése.



4. ábra Hőkamera alkalmazása a Pneumobil pneumatikus csatlakozóinak vizsgálatánál [saját]

A levegő hajtású kísérleti járműveknél is rengeteg csatlakozó, szelep, vezérlő továbbító rész található. Amik, ha csak kismértékben is rontják a jármű teljesítményének hatásosságát. Ezért egy ilyen alapos hőkamerás vizsgálat ki tudja mutatni a még kicsi szivárgásokat is. Ezeket megszüntetve lehetséges, hogy pl. hosszútáv futamon több tíz métert lehet nyerni. Tervben van, és az előkészületek folynak ilyen vizsgálati módszer kidolgozására és alkalmazására. A fő cél megtalálni a lehető legkisebb szivárgást, amit még a hőkamera képes detektálni.

5. Konklúzió

A bevezetésben is látszik, hogy az emberek egy részét érdekelték a fénytani jelenségek, azok miértje és mikéntje. Számtalan tudós, végzett kísérleteket és állított fel elméleteket ebben a témában. A hőszugárzás kimutatása, mérése, értékelése nagyon fontos adatokhoz jutattaja a felhasználókat. Jelen tanulmányban az ipari diagnosztika egy kis szelete lett bemutatva, és egy új terület. Ezen új terület a pneumobilok vizsgálata, ahol azt várjuk, hogy a vizsgálatok kidolgozásával és fejlesztésével, egyéb pneumatikus energiát hasznosító rendszereknél is majd alkalmazni lehet az elért eredményeket. A hőkamera alkalmazása pneumatikus rendszerek szivárgásainak vizsgálatára hatékony eszköz lehet a gyors és pontos diagnózishoz. A rendszeres ellenőrzésekkel és a szivárgások azonosításával a vállalatok jelentős energiamegtakarításokat és költségsökkentéseket érhetnek el. A technológia fejlődésével és a szakemberek tapasztalatával a hőkamera alkalmazása egyre elterjedtebbé válhat a pneumatikus rendszerek karbantartásában és optimalizálásában.

6. Hivatkozások

- [1] Dr. Antal Ákos egyetemi adjunktus, BME-MOGI (2014) : Műszaki Optika tananyag, 3. fejezet
- [2] Dr. Szabó József Zoltán (2015) A termográfia gyakorlati alkalmazása , tantermi gyakorlati anyag
- [3] Dr. Ph.D. Szabó József Zoltán: Forgógépek üzem közbeni mozgásának próbapadi és ipari vizsgálata című cikk
- [4] Dr. Ph.D. Szabó József Zoltán (2015): Mechatronikai rendszerek diagnosztikája, előadás anyag



Szennyvíztisztító telepek biztonsági elvárásai

Safety requirements for wastewater treatment plants

¹ Rákóczi Barbara Mónika

¹ Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Automatizálási és Energiarendszerek Intézet. Budapest, Magyarország, rakoczi.barbara@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Minden ami kritikus infrastruktúra, hozzájárul az életünk biztonságához. Fontos, hogy mind megtálasan mind pedig fizikálisan egészségesek legyünk. Ennek elengedhetetlen része a környezetünk és a rendszerek biztonságos és szabályos működése. A szennyvíztisztítás szerepe pont ilyen. Nekünk itt Európában relatíva szerencsénk van etéren, mert hozzá vagyunk szokva ahhoz, hogy mindig van elegendő és megfelelő tiszta vízünk. Mások a világ többi pontján nem ilyen szerencsések. Az, hogy a szennyvízből elő tudjunk állítani megfelelő fizikai, kémiai (oldott sók és gázok) illetve egyéb jellemzőkkel rendelkező elegendő ásványianyag tartalmú vizet sok lépésből áll. A mechnaikai lépések után, a biológiai tisztítás majd a fertőtlenítés felel ezért.

Kulcs szavak: víz, kritikus infrastruktúra, szennyvíztisztítás

Abstract

Everything that is critical infrastructure contributes to the safety of our lives. It is important to be healthy both physically and mentally. An essential part of this is the safe and orderly operation of our environment and systems. The role of wastewater treatment is just that. We in Euro are relatively lucky in this area, because we are used to always having enough and adequate clean water. Others in the rest of the world are not so lucky. To be able to produce water with sufficient mineral content with appropriate physical, chemical (dissolved salts and gases) and other characteristics from wastewater consists of many steps. After the mechanical steps, biological cleaning and then disinfection are responsible for this.

Keywords: water, critical infrastructure, wastewater treatment

1. Bevezetés a szennyvíztisztító telepek biztonsági elvárásaihoz

Az úgynevezett szennyvíztisztító telepek olyan infrastrukturális létesítmények, amelyek az ember által keletkező szennyvíz tisztítására szolgálnak. A biztonsági elvárások azt a célt szolgálják, hogy ezek a telepek hatékonyan működhessenek úgy, hogy az ott dolgozók megfelelő biztonsággal tevékenykedhessenek. Emellett fontos célja még a környezeti hatások minimalizálása is. Ezeket a biztonsági elvárásokat mérnöki és életvédelmi szempontból határozhatjuk meg.

A tiszta víznek vannak fizikai, kémiai és egyéb jellemzői. A cél az a szennyvíztisztítás során, hogy ezeknek a szempontoknak, értékeknek megfeleljen a már megtisztított vízünk. Fizikai jellemző 5 van. Akkor mondhatjuk rá, hogy tiszta, ha színtelen, szagtalan, íztelen, átlátszó, hideg. Kémiai jellemzőkből oldott sókat és gázokat tartalmazhat. Ezek egy része káros az egészségünkre, de vannak számunkra nem veszélyes elemek is. Oldott gázok közé soroljuk az oxigént, a szén-dioxidot, a kén-hidrogéneket, az ammóniát és a metánt. Oldott sók a vas- és mangánvegyületek, a foszfor

formák, a nitrogén formák, a jodid-ion és a fluorid-ion, mely legutolsó a fokrémek használata miatt kerül a vízhálózatba. Egyéb jellemzők pedig a PH érték, a víz keménysége és az arzén szintje. Az arzén a helytelen műtrágyázás miatt a talajvizben keresztül bejuthat a rendszerbe és súlyos egészségügyi problémákat okoz.

2. Biztonsági elvárások mérnöki szempontból

Ha biztonsági elvárásokról beszélünk fontos, hogy mérnöki megközelítéssel is beszéljünk ezekről néhány szempontban.

Először is a rendszer megtervezéséről kell néhány gondolatot megejteni, ugyanis a szennyvíztelepeknek megfelelő vízkezelési folyamatokkal kell rendelkezniük. A szennyező anyagokat megfelelő mechanikai, kémiai vagy biológia folyamatokkal kell eltávolítani a vízből ahhoz, hogy visszaengedhessük azt a környezetünkbe. Ehhez elengedhetetlen az, hogy precíz mérnöki tervezés készüljön a rendszerről.

Második szempont az, hogy a mérnök megfelelő berendezéseket és anyagokat kell válasszon a szennyvíztelep megépítése előtt. Ennek fontossága abban rejlik, hogy az adott berendezéseknek és egyéb részeknek ellenállniuk kell a szennyvíz kémiai és fizikai hatásainak is egyaránt. Csak a megfelelően kiválasztott berendezésekkel lehet hosszútávú működést biztosítani a szennyvíztisztító telepeknek.

Harmadik fontos szempont a rendszeres karbantartás és a megfelelő üzemeltetés. A szennyvíztisztító telepeknek rendszeres ellenőrzésen kell átesniük, ugyanis csak így lehetnek a berendezések a legoptimálisabb állapotban. Az eszközök megléte elengedhetetlen a megfelelő üzemeltetés szempontjából. [1]

3. Biztonsági elvárások életvédelmi szempontból

A legfontosabb szempont a biztonsági elvárásoknál a munkavédelem. Ez magában foglalja az ott dolgozó emberek biztonságos munkavégését. A szennyvíztisztító telepeknek kötelezően kell biztosítaniuk megfelelő védőruhákat az ott dolgozó embereknek (védősisak, védőruha, kesztyű, munkavédelmi bakancs, védőszemüveg). Emellett fontos, hogy megfelelő képzéseket kell biztosítaniuk a munkavállalók számára, hogy a munkájukat megfelelő tudással tudják elvégezni.

Második fő szempont, hogy megfelelő vészhelyzeti tervekkel rendelkezzenek ezek a létesítmények. A telepeknek fel kell készülniük minden lehetséges vészhelyzetre, amelyek lehetnek vegyi anyagok szivárgása, vagy akár balesetek. Szükséges felmérniük minden kockázatot a telepen lévő rendszer működésénél. Ezekről az információkról az ott dolgozó munkavállalókat is ki kell oktatni, ugyanis csak így kerülhetnek el a vészhelyzetek, illetve katasztrófák.

A harmadik szempont, hogy mivel a vízhálózat és annak biztonságossága egy kritikus infrastruktúra, így az egészségünk, az életünk és a világ fennmaradása miatt erre nagy hangsúlyt kell fektetni. Mi itt Európában (tisztelet a kivételnek), de el se tudjuk képzelni, hogy milyen az ha nincs víz. Nincs mit inni. Nincs mit enni, mert a természetben sincs. Nem esik csapadék és szélsőséges állapotok uralkodnak. Márpedig a világban vannak olyan területek, ahol ez egy állandó probléma. Emiatt fontos, hogy a vízre úgy tekintünk, mint egy „kincs”. A lehetőségeinkhez mérten a legjobb módon tisztítsuk a szennyvizet. Tároljuk az esővizet. A termálvizes források hőenergiájának felhasználása után a hideg vizet tározóba vezessük, ne pedig a természetbe el. Vigyáznunk kell a környezetünkre.

4. A biztonsági elvárások teljesítésének hiányából is eredő problémák, avagy az emberiség gondatlansága

A szennyvíz nagyon nagy mértékben tartalmaz baktériumokat, vegyszereket, illetve rendkívül fertőző anyagokat. Úgy gondolom, hogy több szennyvizet termelünk, mint amennyit megtudnak tisztítani. Ezek az emberek gondatlanságából, illetve pazarlásból származik. Ebből kifolyólag tehát kénytelenek valamilyen szinten tárolni a rengeteg szennyvizet. Ha egy szennyvíz tisztító telep nem megfelelően üzemel ezek a vizek állnak, ennek következtében az úgynevezett legionella-fertőzés esélye drasztikusan megnövekszik. Ennek oka a mérnöki gondatlanság lehet, ha nem megfelelően keringetik a vizet és nem tartják megfelelő hőmérsékleten. [2]

Voltak hírek, cikkek nem is olyan régen arról, hogy a covid 19 vírus kimutatható volt az ivóvízbe ugyanis a szennyvíztisztító telepek feltehetően nem voltak felkészülve ennek lehetőségére. Elképzelhető, hogy sok ember emiatt kapta el a vírust. Ez a probléma is kiküszöbölhető lett volna, ha sokkal komolyabban vennék a szennyvíz ellenőrzését és tisztítását.

Napjainkban ugyan nincs kiemelkedő esőzés, viszont gyakran előfordulnak olyan időszakok amikor rendkívül nagy esőzések vannak. Ennek is megvan a maga kockázata ugyanis az eső víz is bekerül a csatornába. Ahogy azt gondolhatjuk is, a szennyvízhálózatnak igencsak korlátozott a teherbírása ezáltal nagyon nem mindegy, hogy mennyi víz folyik át azokon. Gyakran törnek el szennyvízcsővek elöregedésük miatt, emiatt is gondolom azt, hogy ideje lenne a szennyvízhálózatot felújítani, illetve a csatornák teherbírását növelni a csövek keresztmetszetének növelésével.

Az emberiség legnagyobb problémája a hanyagság, ebből eredően rengeteg szemetet dobálunk el manapság. Ezek mindig valahogy bekerülnek a vizekbe, illetve a vízellátásba. Több szempontból is veszélyes ez a nagymennyiségű szemét. Az egyik szempont az, hogy ezzel még jobban növeljük az ivóvíz fertőzöttségének mértékét. A másik szempont az, hogy ezek a szennyeződések legtöbbször nem oldódnak fel a vízben így rengeteg dugulást és csőtörést okozhatnak. Ezen probléma ellen sajnos nem lehet sok mindent tenni, ugyanis ez teljesen az emberektől függ. Esetleg több kommunális hulladékgyűjtő szemetest lehetne kihelyezni az utcákra.



1. Ábra: A múlt hét keddi eső utáni ürömi patak part

Jelentős problémát okoz a WC papírok összetétele napjainkban. Egyre inkább szeretnénk érezni a kényelmet, hogy minden teljesen tökéletes legyen, amit használunk. Emberek vagyunk ezzel nincs is probléma, viszont Földünket ez nem igazán hatja meg. Manapság a WC papírok gyakorlatilag nem oldódnak fel a vízben, de nem csak, hogy teljesen, egyáltalán nem. A gyártók gondatlansága az, hogy a WC papír vízben nem oldódó anyagból készül. Az amúgy is nehezen tisztítható vízből még nehezebb tisztítható víz lesz. Megoldás lenne erre az, ha esetleg kevesebb rétegű WC papírokat gyártanának jóval színvonalasabb minőséggel és az összetételen is változtatnának.

Összességében tehát csak is magunknak köszönhetjük azt, ami jelenleg van a vízellátásunkkal. Még visszafordítható lenne a jelenlegi helyzet, de egyszer csak késő lesz. Ez nem is minket fog érinteni, hanem gyerekeinket.

5. Konklúzió

Az élet és vagyonvédelem mindenki számára fontos. Az, hogy biztonságban tudjuk magunkat, a szeretteinket és a környezetünket egy fontos szempont az életünkben. A kritikus infrastruktúrák szabályosan, folyamatosan és jól működve hozzájárulnak ehhez a „jó érzéshez”. Mi magunk pedig mechanikai védelmek segítségével tudunk egy ideális és biztonságos környezetet kiépíteni.

Hivatkozások

- [1] Lukács György- Gábor László (szerk.): Új Vagyonvédelmi Nagykönyv, CEDIT 2000 Kft. Budapest, 2002, ISBN 963 8180 39 0
- [2] Berek Tamás – Elek Imre: Zárszerkezet, mint a mechanikai védelem sebezhető pontja Műszaki Katonai Közlöny XXV. évfolyam, 2015. 3. szám 47-58 p. ISSN 2063-4986 http://www.hhk.uninke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/PDF_2015_3_sz/2015_3sz.pdf



Cloud Forensics módszertan alkalmazásának vizsgálata magas automatizáltságú járművek szakértői vizsgálatában

Examination of the application of Cloud Forensics methodology of the highly automated vehicles

¹Répás József

¹Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, Magyarország, repas.jozsef@uni-nke.hu

Összefoglalás

A járművek vezetékes és vezeték nélküli interfészek által kapcsolódnak más járművekhez, gyártóhoz, szolgáltatóhoz, környezeti és pálya elemekhez, különböző IT és mobil eszközökhöz. A távoli hozzáférésnek köszönhetően lehetőség nyílik különféle jármű funkciók vezérlésére, ezzel párhuzamosan azonban a támadónak is lehetősége nyílna távolról a járműhöz csatlakozni, azt vezérelni. Jelenleg nincs általánosan elfogadott módszertana a járművekhez kapcsolódó forenzikus vizsgálatoknak, ezért egy ilyen módszertan kidolgozásához szükséges megvizsgálni a rendelkezésre álló digitális forenzikus módszertanokat, azok vagy részeinek felhasználása érdekében. Jelen tanulmány a cloud forensics lépéseit és kihívásait tekinti át, modern járművekhez kapcsolódó vizsgálatok szemszögéből.

Kulcs szavak: cloud forensics, önvezető járművek, szakértői vizsgálat, C-ITS

Abstract

The vehicles are connected to other cars, manufacturers, service providers, environmental and track elements, and various IT and mobile devices via wired and wireless interfaces. With remote access, it is possible to control some vehicle functions. Still, at the same time, an attacker may also have the opportunity to connect to and control the vehicle remotely. Currently, there is no generally accepted methodology for forensic testing related to modern vehicles, therefore to develop such a methodology, it is necessary to examine the available digital forensic methodologies to use them or parts thereof. This study reviews the steps and challenges of cloud forensics from the perspective of modern vehicle investigations.

Keywords: Cloud forensics, autonomous vehicles, digital forensics, C-ITS

1. Fejlett közlekedési rendszerek és járművek

Az Európai Unióban folyamatosan növekszik a közúti közlekedés volumene, ami a közúti infrastruktúra túlterhelését, környezeti és energiafelhasználási problémákat is okoznak. A közúti közlekedési rendszerek és mobilitási szolgáltatások egyik célja a közlekedés biztonságosabbá tétele, a környezeti hatások csökkentése, valamint a jóléti szolgáltatások fejlesztése. A közlekedési rendszerek együttműködése által (Cooperative Intelligent Transport Systems - C-ITS), amikor két

vagy több ITS alrendszer közötti együttműködése jobb minőségű és magasabb szolgáltatási szintet biztosít. Ezek az alrendszerek lehetnek személy, jármű, pálya vagy környezet és központi ITS-ek is. Fejlett kommunikációs technológiák segítségével lehetővé válik a közlekedés különböző szereplőinek és az ITS-ek közötti gyors, vezeték nélküli kommunikációja.

A C-ITS segítségével ösztönözhető a közlekedési tudatosság, létrehozhatóak olyan információs és figyelmeztető szolgáltatások, mint a kereszteződések ütközésre figyelmeztető rendszere, vészhelyzetekre és veszélyes helyzetekre való jelzések, forgalmi dugó és álló járműre való figyelemfelhívás, vagy a baleset előtti/utáni jelzések. A rendszer résztvevői megoszthatnak egymással környezeti vagy szenzorai által gyűjtött információkat, ami lehetővé teszi a nem kommunikáló közlekedési résztvevők védelmét, vagy a járművezető számára még nem látható veszélyek érzékelését. Ilyen például az előzési figyelmeztetés, veszélyeztetett úthasználókra (pl. gyalogosok, biciklisek stb.) való figyelmeztetés, kooperatív sebességszabályozás, kiterjesztett kereszteződések ütközésre figyelmeztető rendszere, vagy a járművek speciális prioritizálása (pl. mentő, tűzoltó, rendőrség). A kooperatív vezetés olyan szolgáltatásokat jelenti, mint a statikus vagy dinamikus konvojban közlekedés (platooning), a kooperatív sávváltás és előzés. A C-ITS lehetővé teszi az úthasználók részére, hogy ne csak állapotukat és szenzorai adatait osszák meg, hanem szándékaikat/terveiket, ezáltal lehetőség nyílik intelligens interakciókra és a tevékenységek összehangolására [1][3].



1. ábra Modern közlekedési rendszerek résztvevői [4]

Az infrastrukturális fejlődés utat mutat a felhőalapú szolgáltatások megjelenésének és fejlődésének. Ennek megfelelően a felhőalapú megoldások lehetővé teszik az autógyártók számára, hogy távolról frissítéseket és javításokat hajtsanak végre a járműveken. Ezáltal távolról új funkciókat vezethetnek be vagy akár hibákat is javíthatnak, ami javítja az autók teljesítményét és biztonságát. A karbantartás előrejelzés keretein belül a szenzorok segítségével gyűjtött adatok elemzése alapján lehetőség nyílik a gépjárművek állapotát és az alkatrészek kopását előre jelezni. Ez lehetővé teszi a karbantartások tervezését és csökkentheti a váratlan hibák vagy meghibásodások kockázatát. A felhő alapú szolgáltatások segíthetnek a biztonsági és vezetéstámogató rendszerek kialakításában és továbbfejlesztésében, például a C-ITS alapú, valós útviszonyokon alapuló távolságtartó asszisztensek alkalmazását. A felhőalapú szolgáltatások felhasználhatók arra is, hogy személyre szabott felhasználói élményt nyújtsanak az autóvezetőknek és az utasoknak. Ez lehetővé teszi az okos navigációt, személyre szabott zene lejátszást, vagy más személyre szabott szolgáltatásokat a járműben.

2. Modern közlekedési járművek szakértői vizsgálata

A technológiai fejlődés hatással van az autóipar termékeire is, ennek eredményeként a járművek mobilhálózaton keresztül kommunikálnak a gyártóik felé. A gyártók ezáltal képessé válnak valós időben adatok gyűjtésére a járművek valós használatával kapcsolatban. A gyűjtött adatokat anonimizált, vagy a jármű azonosítására alkalmas módon is van lehetőségük kezelni, felhasználni. Ezen adatok alapján a gyártók pontos képet kaphatnak a jármű üzemeltetésével és akár a vezetési stílussal, szokásokkal kapcsolatban is. A járművekben található szenzorok különböző telematikai és környezeti információkat gyűjtenek, például a jármű sebességével, az üzemanyag-fogyasztással, a motor állapotával kapcsolatban. Az adatokat egyes gyártók, a felhasználó, vállalati felhasználás esetén a vállalat, vagy flottakezelő is elemezheti. Amennyiben a használat során keletkezett adatok adott járműhöz köthetőek, akkor a gyártó szélsőséges esetben garanciális igények esetén rámutathat a nem rendeltetésszerű használatból eredő károkra, ennek megfelelően akár mentesülhet a garanciális javítás kötelezettsége alól, amennyiben bizonyítani tudja, hogy a meghibásodás a rendeltetésellenes használatra vezethető vissza.

A modern és egyre inkább önvezetővé váló járművekkel kapcsolatos vizsgálati célok eléréséhez, a releváns múlt eseményeinek megismerése, megismerhetősége szükséges, ami a gyakorlati tapasztalatok alapján, az adatok tárolási, feldolgozási és továbbítási módjait és egyéb kihívásokat figyelembe véve komplex, új megközelítést és megoldásokat igényel. A digitális világban, így a modern járművek esetén is igaz, hogy minden esemény valamilyen nyomot hagy maga után. Akár a szenzor információk, navigációs adatok, cellainformációk, vagy a fejlett kommunikációs csatornákon átvitt adatok formájában, vagy a felhőalapú rendszerek használatával stb.

Egy vizsgálat eredménye annyira pontos, a vizsgálat „annyit ér”, amennyi releváns adatot a szakértő ki tud nyerni a vizsgálati tárgyából. Emellett a digitális forenzikus vizsgálatokra is érvényes az ún. „első csapás” fogalma, mely szerint az eredményes tényfelderítéshez és a 7W kérdések megválaszolásához a lehető legrövidebb időn belül meg kell tenni a szükséges intézkedéseket. Különösen igaz ez Live és hálózati vizsgálatok esetén, valamint a felhő alapú rendszerek vizsgálata kapcsán is [6].

2.1 Járművekhez kapcsolódó felhő alapú rendszerek szakértői vizsgálata és kihívásai

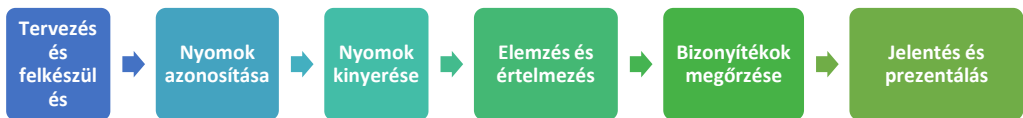
Az elmúlt több, mint egy évtized egyik legelterjedtebb számítástechnikai fogalma a felhő (cloud), a felhő alapú rendszerek volt. Napjainkra az autógyártók is széles körben támaszkodnak az ilyen megoldásokra, szinte minden új autótípushoz elérhető az online elérés, a mobiltelefonos applikáció segítségével történő hozzáférés. Egy olyan megoldásban, ami lehetővé teszi, hogy kényelmesen, bárhol, igény szerinti erőforrásokhoz férhessünk hozzá, a járművek szenzorai által gyűjtött, a járműben feldolgozott, tárolt és továbbított adatok széles tárháza jelenik meg. Felhasználói oldalról a rugalmasság mellett olyan kihívások jelennek meg például, mint a komplexitás, az az átláthatóság, a biztonság, auditálás hiánya. Míg a szolgáltatói oldalon például a biztonsági kihívások, magas költségek, szolgáltatások integrálásának nehézségei állnak. A felhő alapú rendszerek főbb biztonsági fenyegetéseit az adatszivárgás és adatvesztés, a fiókok kompromittálása, a nem kellően biztonságos API-k (Application Programming Interface - alkalmazásprogramozási interfész), a DoS támadások és a megosztott technológia problémái állnak. A járművekhez kapcsolódóan ezen fenyegetések közlekedési baleseteket, emberi sérüléseket és halált is okozhatnak, ezért elsődleges feladat ezen rendszerek hatékony védelme. Ehhez hozzá tartozik az események utólagos vizsgálatának képessége is, vagyis nyilvánvalóvá kell tenni, hogy mi történt, olyan esetekben is ami nem megismételhető. A felhő alapú rendszerek szakértői vizsgálata, a Cloud Forensics, a Computer Forensics egyik ága, amely felhő alapú rendszerekben található digitális információk (elektronikus adatok) azonosításához, gyűjtéséhez, megőrzéséhez, vizsgálatához, elemzéséhez a tudomány és a műszaki fejlődés eredményeit használja fel. Célja annak

biztosítása, hogy megértsük a felhő környezetben található nyomokat. A Cloud Security Alliance (CSA, 2013) meghatározása alapján bizonyítékként szolgálhatnak például a felhőben található webszerver napló állományok, alkalmazás szerver és adatbázis naplók, hozzáférési naplók, virtualizációs és vendég operációs rendszerek naplói, hálózati forgalmak, DNS szerver naplók, API logok, számlázási információk stb. A felhőszolgáltatások szakértői vizsgálatát, a kinyerni kívánt adat tárolási helye határozza meg. Amennyiben felhőszolgáltatás képezi a vizsgálat tárgyát, akkor mérlegelni kell, hogy az adatokat milyen módon célravezető begyűjteni. Az adatokhoz történő hozzáférést befolyásolhatja, hogy a gyártó (felhő szolgáltató) milyen módon védi a felhasználói adatokat, illetve a szükséges hitelesítő adatokhoz milyen módon lehet hozzáférni. A szükséges hitelesítő adatok megszerzése érdekében indokoltá válhat a járműben található adathordozó vizsgálata.

Technikailag hibrid megközelítés szükséges a bizonyítékok előállításához, ezek lehetnek például távoli, virtuális, hálózati, live, vékony és vastag kliens vizsgálati megközelítések. Mivel az adatokról és az infrastruktúráról a szolgáltató rendelkezik, melyek lehetnek igen változékonyak, távol a vizsgálat helyétől, vagy különböző technológiákon alapulhatnak, az adatok gyűjtése és elemzése nem mindig egyszerű. Az adatok lehetnek titkosítottak, a törölt állományok nem állíthatók vissza, illetve több lokáció, rendszer és alkalmazás között töredezetek/megosztottak (fragmentáltak), melyek a vizsgált esemény idővonalának összeállítását nehezítik. A felhőben lévő adatok jogosulatlan hozzáférés elleni védelme miatt a szakértő általi hozzáférés akár a rendszer biztonságának kompromittálásával is járhat [2][5][7][8][9][10].

Szereplőit tekintve egy vizsgálat során szükséges lehet a felhőszolgáltatók, felhasználók, cloud brókerek vagy auditorok elérése és a tőlük való információgyűjtés is. Jogi megközelítésben a többes joghatóság és az személyes adatokra vonatkozó adatvédelmi követelmények jelentenek további kihívást.

A felhő alapú rendszerek forenzikus vizsgálatának szakirodalomban meghatározott lépései megegyeznek a számítógépes forenzikus vizsgálatok lépéseivel. Figyelembe véve, hogy a felhő alapú rendszerek is informatikai erőforrások, csupán nem helyben, saját eszközünkön érjük el azokat, hanem távoli hozzáféréssel „más valaki számítógépéhez”, szerveréhez csatlakozunk, a sztenderd vizsgálati lépések alkalmazhatóak, csupán az eszközök, technikák változtatására lehet szükség.



2. ábra Felhő alapú rendszerek forenzikus vizsgálatának lépései

A felhőalapú szolgáltatás szakértői vizsgálata során több kihívás is megjelenhet. Ezeket a vizsgálat tervezése során már figyelembe kell venni, ezek alapján történik a felkészülés, a vizsgálati stratégia elkészítése. Járművekkel kapcsolatos vizsgálatok esetén kiemelten fontos egy olyan vizsgálati stratégia elkészítése, amely meghatározza a konkrét vizsgálandó szolgáltatások körét, a kapcsolódó erőforrásokat, emellett az alkalmazni kívánt eszközöket és technikákat is [2][5][7][8].

A nyomok azonosítása során történik meg a felhő alapú rendszerekben tárolt különböző adatok típusának és hozzáférési lehetőségének azonosítása (pl.: alkalmazás szerver és adatbázis naplók, hozzáférési naplók, API logok stb.), majd az ezt követő kinyerési fázisban ezek elérését és másolását (esetleg a törölt vagy sérült adatok visszaállítását). A szolgáltatói korlátozások és az adatmegőrzési

szabályai befolyásolhatják a kinyerhető adatok mennyiségét, tartalmát, valamint elérhetőségét. Az adatok kinyerését akadályozhatja a hitelesítő adatok hiánya vagy a nem elérhető felhasználói felület (ilyen esetben csak a jármű közvetlen elérése biztosított, a felhasználóé nem). Ilyen esetben, a fizikai hozzáférés hiányában a felhőszolgáltató aktív közreműködése is szükséges az adatok sikeres megszerzése érdekében. Sikeres hitelesítés esetén, a szolgáltatásba történő belépést követően lehetőség nyílik a tárolt adatok hiteles letöltésére, illetve hiteles mentésére. Az adatok mentése során különös figyelmet kell fordítani a letöltött adatok hitelességének és integritásának megőrzésére, melyhez olyan szakértői alkalmazások állnak rendelkezésre. Az adatátvitel és a tárolás során az adatok sérülhetnek, vagy módosulhatnak. Ezen nem kívánt események megelőzése és az adatok hitelességének biztosítása kiemelt feladat a vizsgálat során.

Az elemzés és értelmezés fázisban az összegyűjtött nyomok vizsgálatával meghatározásra kerül, hogy ezek közül mely nyomok relevánsak (bizonyító erővel bírnak) a vizsgálat szempontjából, mivel kinyert adatok között valószínűleg vannak olyanok is, amelyek nem relevánsak. Ez akár manuális vagy automatizált eszközökkel is történhet, például szöveg és minta kereső algoritmusok, az egyes fájlok tartalmi típusát megállapítani képes eszközök. Ebben a fázisban is kiemelt fontosságú az adatok integritásának megőrzése. Az elemzési lépés fő célja, hogy választ tudjunk adni a vizsgálat fő kérdéseire, és ennek érdekében kell az adatokat a válaszadásra használható információvá alakítani. A szakértőnek a vizsgálatok során kinyert információkból igazolható, logikus összefüggéseket, következtetéseket kell tennie. Az elemzés eredményének személyek, helyek, események, cselekedetek, tárgyak meghatározására kell irányulnia, és abban kell állást foglalni, hogy ezek milyen módon kapcsolódnak [2][5][7][8][11][13].

A bizonyítékok hatósági eljárásokban való elfogadhatóságának biztosítása érdekében szükséges azok biztonságos megőrzése és dokumentálása. Ide tartozik a bizonyítékok további másolatainak elkészítése, mentése, archiválása, valamint a vizsgálat részletes dokumentálása, a folyamat lépéseinek rögzítése, a felügyeleti lánc fenntartásának igazolása.

Az utolsó lépésként a talált bizonyítékokról, megállapításokról szóló jelentés elkészítése, az elvégzett folyamat dokumentálása, a következtetések, javaslatok leírása történik. Ez tartalmazza a vizsgálat körülményeinek, eszközeinek, eljárásának részletes leírását, a bizonyítékok elemzését és értelmezését, a levont következtetéseket, megállapításokat. A felhőszolgáltatás vizsgálata során a letöltött adatok heterogén formátumából, esetleges strukturáltságából, vagy strukturátlanságából, az információk alkotta adatmennyiségéből fakadóan további kihívást jelenthet az adatok laikusok (pl.: nyomozó hatóság, bíróság) számára világos, tömör, értelmezhető formában történő átadása.

A járműhöz kapcsolódó különböző felhőszolgáltatásokban tárolt adatok hasznos nyomoknak bizonyulhatnak egy esemény, bűncselekmény vagy incidens kivizsgálása során. Ilyen adatok lehetnek a navigációs előzmények, útvonalak, a jármű sebességével kapcsolatos adatok, kamera és szenzor adatok, telemetriai információk, a tárolt időbélyegek és metaadatok, melyek segíthetnek az események idővonalának meghatározása során [2][5][7][8][12].

3. Konklúzió

A modern járművek szakértői módszertanának kialakításához szükséges a már meglévő digitális forenzikus módszerek vizsgálata, annak megállapítására, hogy azok részben vagy egészben, illetve technikáikat, lépéseiket, eszközeiket tekintve használhatóak-e a járművek vizsgálatához. Jelen tanulmányban a felhő alapú rendszerek vizsgálata, annak vizsgálati lépései és kihívásai kerültek elemzésre. Ennek eredményeként megállapítható, hogy a járművekhez kapcsolódó felhő szolgáltatások nem különböznek lényegesen az egyéb felhő szolgáltatások vizsgálatától, ezek kihívásai megegyeznek, nem függenek a vizsgálat alapelemétől, a járműtől.

Köszönetnyilvánítás

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával, továbbá az Alverad Technology Focus Kft. Kiberbiztonsági Kutatás, Fejlesztés és Innováció üzletág szakmai támogatásával készült.

4. Hivatkozások

- [1] C-ITS use cases, 2023. Forrás: https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2CCC_UC_2097_UseCases_V1.0.pdf, Letöltve: 2023.11.15.
- [2] Cloud Forensics Tools 2022. Forrás: https://medium.com/@cloud_tips/cloud-forensics-tools-4beed278ea5e, Letöltve: 2023.11.20.
- [3] Connected Mobility, 2022. Forrás: https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/Car_2_Car_Communication_Consortium_-_Europe_s_Path_to_Connected__Cooperative_and_Automated_Mobility_.pdf, Letöltve: 2023.11.25.
- [4] Connected Vehicles, Forrás: https://mtc.ca.gov/sites/default/files/styles/half/public/images/connected_vehicles2.jpg.webp?itok=8jrZXTmu, Letöltve: 2023.11.25.
- [5] David Tidmarsh, 2022. Introduction to What is Cloud Forensics? Forrás: <https://www.eccouncil.org/cybersecurity-exchange/computer-forensics/what-is-cloud-forensics>, Letöltve: 2023.11.20.
- [6] Fenyvesi Csaba, Herke Csongor, Tremmel Flórián (szerk.): Kriminálisztika, NKE Ludovika Egyetemi kiadó, 2022. ISBN 978-963-531-557-4
- [7] Jayadev Paleri 2023. Cloud Forensics: Understanding the Investigation Process, Forrás: <https://www.linkedin.com/pulse/cloud-forensics-understanding-investigation-process-jayadev-paleri>, Letöltve: 2023.11.25.
- [8] Joshi R.C., Emmanuel, S. Pilli. (2016), Fundamentals of Network Forensics, Springer 2016. ISBN 978-1-4471-7297-0
- [9] Mi az a felhőalapú számítás? Forrás: <https://azure.microsoft.com/hu-hu/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing>, Letöltve: 2023.11.25.
- [10] Mit kell tudni a felhőtechnológiáról? Forrás: https://kalauz.lib.pte.hu/felholdotechnologia/#_ftn1, Letöltve: 2023.11.10.
- [11] Nicole Lim, 2020. Everything You Need To Know About Cloud Forensics, Forrás: <https://www.appdirect.com/blog/cloud-forensics-and-the-digital-crime-scene>, Letöltve: 2023.11.25.
- [12] Répás József, 2023. Definition of Forensic Methodologies for Autonomous Vehicles, HADMÉRNÖK 18 : 1 pp. 125-141. , 17 p. (2023)
- [13] SANS Institute, Enterprise Cloud Forensics and Incident Response, Forrás: <https://www.sans.org/cyber-security-courses/enterprise-cloud-forensics-incident-response>, Letöltve: 2023.10.10.



Az orvosi gázok veszélyei az egészségügyi kritikus infrastruktúrák tekintetében

The dangers of medical gases for critical health infrastructure

¹Simon Mátyás, ²Dr. Daruka Norbert, ³Dr. Szabó Gyula

¹ Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Isikola, doktorandusz hallgató, Budapest, Magyarország, simon.matyas@phd.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, képzésfelelős, Budapest, Magyarország, daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Munkavédelmi szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, képzésfelelős, Budapest, Magyarország, szabo.gyula@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az egészségügyi kritikus infrastruktúra alapvető fontosságú az ellátás folytonossága és a betegek biztonsága szempontjából. Ezen rendszerek azonban különleges veszélyeket rejtnek, különös tekintettel a gázpalackok jelenlétére és tulajdonságaira. Ebben a tanulmányban elemzésre kerül, hogy a különböző méretű és töltetű gázpalackok milyen potenciális veszélyeket hordoznak, különös tekintettel az oxigénpalack kockázataira. Részletezzük, hogyan válhatnak ezek a létfontosságú eszközök a legveszélyesebb eszközökké, és hangsúlyozzuk, hogy még kisebb hibák vagy gondatlanság esetén is veszélyeket idézhetnek elő. A tanulmány további megközelítése a veszélyek kezelése és minimalizálása érdekében a biztonságos munkakörnyezet kialakítására összpontosít, kiemelve a szükségmegoldásokkal járó fokozott kockázatokat. A kutatás célja, hogy felhívja a figyelmet ezekre az alábecsült veszélyforrásokra az egészségügyi infrastruktúrában, és ösztönözze a megfelelő intézkedések megtételét a katasztrófa elkerülése és a betegellátás biztosítása érdekében.

Kulcs szavak: egészségügy, orvosi gáz, kockázatok, kritikus infrastruktúra.

Abstract

Healthcare critical infrastructure is fundamental in ensuring continuity of care and patient safety. However, these systems harbour unique dangers, particularly concerning the presence and characteristics of gas cylinders. This study analyzes the potential risks associated with gas cylinders of varying sizes and compositions, explicitly focusing on the risks of oxygen cylinder. We explore how these vital tools can become some of the most hazardous instruments, emphasizing that even minor errors or negligence can lead to dangers. The research takes a further approach to highlight the management and minimization of risks for establishing a safe working environment, particularly addressing the heightened risks associated with emergency solutions. This study aims to draw attention to these underestimated sources of danger in healthcare infrastructure and encourage the implementation of appropriate measures to prevent disasters and ensure patient care.

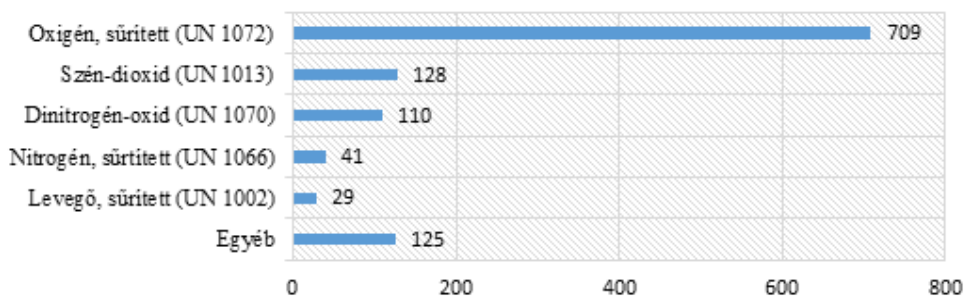
Keywords: health, medical gas, risks, critical infrastructure.

1. Orvosi gázok az egészségügy területén

Az egészségügyi kritikus infrastruktúra területén számos szervezeti egységében a napi rutintevékenység részét képezi a különböző méretű és töltetű gázpalackok használata, vagy a kiépített gázpalackközpontok által biztosított – javarészt orvosi – gázok felhasználása. Az egészségügyben közvetlenül a lélegeztetés, a kriosebészet, a kriokonzerválás, az invazív sebészet, a reuma kezelések, MRI vizsgálatok, valamint az altatás és narkózis során történik orvosi gázok és orvosi gázkeverékek felhasználása. A betegellátó és kutatási profil miatt a vizsgált kritikus infrastruktúráként kijelölt egészségügyi szervezet telephelyein egyidejűleg több mint ezer darab gázpalack található. Fontos megemlíteni, hogy közvetve az egészségügyi ellátás működéséhez szükséges rendszerek üzemeltetése, karbantarrása és javítása során is történik ipari gázok (például sűrített levegő, argon, acetilén) felhasználás, ami közvetve veszélyeztetheti a kritikus infrastruktúrát.

A gázokat három fő csoportba sorolhatjuk, az egyik csoport az éghető gázok, amelyek az égést tápláló közeggel hőt termelő kémiai folyamatban egyesülő gáz (például acetilén, hidrogén, propán-bután, stb.). Második csoportja az égést tápláló gázok, amelyek az éghető közeggel exoterm kémiai reakcióban egyesül (például levegő, oxigén, stb.). A harmadik csoportja a semleges gázok, amelyek nem égnak és az égést nem táplálják (például nitrogén, szén-dioxid).

Gáztípusok gyakorisága az egészségügyi kritikus infrastruktúrákban



1. ábra: Gáztípusok gyakorisága [szerkesztette Simon Máttyás]

A vizsgált egészségügyi kritikus infrastruktúrák által használt palackos gázok többségében semleges vagy égést tápláló gázok, kis mértékben fordultak elő éghető gázok. A betegellátási profiljából adódóan az ellenőrzött 1142 db gázpalackból a leggyakrabban előforduló típus a sűrített oxigén volt, melyből a vizsgálat időszakában 709 db (különböző méretű) gázpalack volt megtalálható a telephelyek tárolóiban és palackközpontjaira kötve (ide nem számítva a használatban lévő, betegellátó osztályokon, műtőkben vagy laboratóriumokban található palackokat).

A gázpalackok könnyebb beazonosíthatósága miatt egységes gázpalack színjelölés került kialakításra.

Egészségügyi gázok						
Palackváll színe: fehér (RAL 9010)	Palackváll színe: kék (RAL 5010)	Palackváll színe: szürke (RAL 7037)	Palackváll színe: fekete (RAL 9005)	Palackváll színe: fehér+fekete (RAL 9010 + 9005)	Palackváll színe: fehér+kék (RAL 9010 + 5010)	Palackváll színe: fehér+szürke (RAL 9010 + 7037)
Palackköpeny színe: Az egészségügyi gázok és gázkeverékek palackjainak köpenyrésze kötelezően egységesen fehér.						
Eü. oxigén	Dinitrogén-oxid	Eü. szén-dioxid	Eü. nitrogén	Eü. sűrített levegő Eü. sztetikus levegő	Oxidán (N ₂ O ₂)	Carbogén gázok (CO ₂ ,O ₂)

2. ábra: Egészségügyi gázpalackok jelölései az MSZ EN 1089-3 szabvány szerint [1]

Színjelölés általános alapszabálya veszélytényező alapján			Legfontosabb ipari gázok egyedi színjelölése			
Palackváll színe: sárga (RAL 1018)	Palackváll színe: vörös (RAL 3000)	Palackváll színe: élménzöld (RAL 6018)	Palackváll színe: sötétzöld (RAL 6001)	Palackváll színe: barna (RAL 8008)	Palackváll színe: szürke (RAL 7037)	Palackváll színe: fekete (RAL 9005)
Mérgező és/vagy korrodáló gázok ammónia arzin fluor kén-dioxid klór nitrogén-monoxid szén-monoxid	Éghető gázok hidrogén etán metán propán	Semleges (inert) gázok Sűrített / szintetikus levegő	Argon	Hélium hélium	Szén-dioxid szén-dioxid Gourmet C (ét.ip.)	Nitrogén nitrogén Nitrocut Gourmet N (ét.ip.)
	Éghető komponenszt tartalmazó gázkeverékek formálógázok H ₂ tartalmú argonkeverékek (Inoxline H5, H7)*	Nemes gázok kripton xenon neon	Nitrogén nitrogén Nitrocut Gourmet N (ét.ip.)	Oxigén oxigén OxiCut Gourmet O (ét.ip.)	Acetilén acetilén	Dinitrogén-oxid dinitrogén-oxid
Palackváll színe: világkék (RAL 5012)		Semleges (inert) élelmiszeripari gázkeverékek barátság Gourmet mix Oxy-food	Palackváll színe: fehér (RAL 9010)	Palackváll színe: gesztenyebarna (RAL 3009)	Palackváll színe: kék (RAL 5010)	
Oxidáló gázok oxigén és/vagy dinitrogén-oxid tartalmú gázkeverékek			<small>* Argon alapú gázkeverékek max. 2,2% H₂ tartalomig semleges (inert) gázkeverékek számítanak (pl. Inoxline H2, Inoxline H43 H1)</small>			

3. ábra: Gázpalackok jelölései az MSZ EN 1089-3 szabvány szerint [1]

A gázpalackok tárolására vonatkozó MSZ 6292 szabvány kidolgozása óta (1981.) kétszer került módosításra, ezáltal a gázpalacktárolók – építési idejüktől függően – más-más követelmények szerint kerültek kivitelezésre. Ezt figyelembe véve a szabvány szerinti létesítés szempontjából három különböző időszakot különböztethetünk meg: 1981-1997, 1997-2009, 2009-napjainkig. A vonatkozó szabvány korábbi változatai előírták a tárolók jelölését (MSZ 6292:1981,1997) a hatályos verzió azonban erről már nem rendelkezik. Viszont a munkahelyen alkalmazandó biztonsági és egészségvédelmi jelzésekről szóló 2/1998. (I. 16.) MüM rendeletet figyelembe véve mind az újabb, mind a korábban kialakított tárolók esetében fontos, hogy a megfelelő figyelmeztető és tiltó jelzések kihelyezésekre kerüljenek. [2] [3] [4]



4. ábra: Gázpalack tárolók jelölései [5]

2. Az orvosi gázok veszélyei

A nyomástartó edényekben (például palack, tartály) a gázokat sűrített, nyomás alatt cseppfolyósított, vagy nyomás alatt oldott állapotban tárolják. A gázok alapvető tulajdonságai a palack címkéjén, a termékadatlapokon és biztonsági adatlapon vannak feltüntetve. Az egészségügyi kritikus infrastruktúrák betegellátása során felhasznált orvosi gázok ártalmait két kóroki tényező határozza meg, az egyik a kémiai kóroki tényezők, a másik a fizikai kóroki tényezők. Az utóbbi esetében a gázpalackok eldőléséből, gurulásából eredő sérüléseket, valamint a palackok helytelen mozgatásából származó sérüléseket (húzóadás, sérv, stb.) szükséges figyelembe venni. A sérül bekövetkezésének valószínűségét és súlyosságát a gázpalackok eltérő méretei, súlya, valamint kézi mozgatás módszere befolyásolhatja, azonban a gázpalackok mozgatására kialakított szállítóeszközök, mint a gázpalack szállító kaloda, gázpalack kocsis és fali tartók megnövelik a gázpalackok kezelésénél, a telephelyen és épületen belüli szállításhoz, emeléshez vagy tároláshoz a biztonságot. A kémiai kóroki tényezők esetében a gázok egyedi kémiai tulajdonságai (gyúlékony, égést tápláló „oxidáló” (például dinitrogén-oxid, oxigén), „mérgező” (például szén-monoxid, kén-dioxid, fluor, klór), öngyulladásra hajlamos, maró „korrozív”, környezetre veszélyes, „rákkeltő vagy teratogén” meghatározóak. Némely gáz egyszerre több ilyen tulajdonsággal is rendelkezhet. A nyomás alatt lévő gázpalackok (a semleges gázok is) hő hatására felrobbanhatnak. Továbbá az

inert (semleges) gázok, jóllehet nem bírnak veszélyes tulajdonságokkal, de kiszoríthatják az oxigént a levegőből, és ezzel fulladást okozhatnak.

A vizsgált egészségügyi intézményben a legnagyobb mennyiségben az oxigén orvosi gáz fordul elő, ami cseppfolyósítva, palackban sűrítve vagy orvosi gáz hálózaton keresztül kerül felhasználásra. Az oxigén atmoszférikus hőmérsékleten és nyomáson szintelen, szagtalan, íztelen gáz, így veszélye, hogy 75 %-nál nagyobb koncentrációban történő folyamatos belélegzése émelygést, szédülést légzészavart és görcsöt okozhat. A tiszta oxigénnek, főleg atmoszférikusnál nagyobb nyomáson való belélegzésekor pedig tüdővizenyő léphet fel. Fő jellemzője, hogy nem éghető, hanem az égést tápláló gáz, így tiszta oxigénben az égés sokkal gyorsabban megy végbe, mint a levegőben. Néhány éghető anyag, mint például az olaj, illetve a különböző zsiradékok oxigénáramban robbanásszerűen égnek el, ezért szigorúan tilos az oxigénpalack szelepéhez olajos, zsíros kézzel hozzányúlni. Magas oxigén-koncentrációk elősegítik az egyes anyagok lángra lobbánását, így például egy szikra, amely oxigénnel átitatott textilre vagy ruhaneműre esik, lobbánásszerű tüzet eredményez. [6]

Különösen fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a robbanásszerű égés valójában egy térrobbanás, vagyis ebben az esetben kialakul egy robbanóképes légtér, ahol az éghető gázok normál körülmények között, megfelelő gyújtóforrás hatására úgy lobbannak be, hogy az égési folyamat átterjed az egész keverékre. A munkavédelmi szempontokat is figyelembe véve, illetve a 4. ábrán is látható jelöléseknek megfelelően robbanóképes légtér alakulhat ki az adott munkaterületen, vagyis a tényleges feladatvégrehajtás potenciálisan robbanásveszélyes környezetben valósulhat meg. Ahhoz, hogy a gázrobbanás veszélye egyáltalán létre jöjjön, a következő feltételeknek kell egyidőben teljesülnie: éghető anyag jelenléte, keveredés, bezártság, gyújtóforrás, megfelelő mennyiségű oxigén.

Az orvosi oxigénnel járó tüzek nem új keletű jelenségek az egészségügy területén, leggyakrabban a műtőben és az intenzív osztályon fordul elő, ahol rutinszerűen végeznek betegeken oxigénnel kezeléseket és terápiákat. A koronavírus járvány hatására az egészségügyben történő oxigén felhasználás jelesen megnövekedett, ami hatására több területen megjelent oxigéndús környezet kialakulásának veszélye. [7] A koronavírus világjárvány 2020. márciusi kitörése óta (2021. november 11-ig) legalább 60 intenzív oxigénhasználattal összefüggő kórházi tüzesetet észleltek a világ különböző országaiban, amelyek közel 400 ember halálát okozták, többeket megsebesítve. [8]

A vizsgált egészségügyi intézmény PIC osztályán ágyon fekvő csecsemőt készítettek elő műtéthez az osztályon dolgozók, emiatt a szükséges oxigént a központi rendszer helyett palackról biztosították. Azonban az eddig használt palackok már kifogyóban voltak, így a műszaki személyzet egy darab oxigént, illetve egy darab sűrített levegőt tartalmazó palackot szállított az osztályra palackszállító kocsis segítségével. A cserére szánt oxigénpalackra a tömlőt rá akarták csatlakoztatni, amikor az elkezdett szikrázni, majd lángra kaptak a környező műanyag és gumi szerelvények.



5. ábra Oxigén palack tűz [Fotó: Simon Máttyás]

A beteget a kórteremből azonnal eltávolították, közben a kórterem mellett található tűzoltó

takarót a keletkezett tüzre dobtak, azonban ezzel nem sikerült megfékezni a tüzet, így azonnal a legközelebbi fali porral oltó készülékért mentek, amivel sikeressen eloltották a tüzet. A palack szelepét elzárni nem lehetett, mivel műanyag elzáró volt rajta, ami a hő hatására megolvadt. Ezután azonnal szellőztetni kezdtek.

A tüzeset esetén a létfontosságú rendszerelem infrastruktúrája sérül, ami érintheti az energia ágazatot (például elektromos energia, illetve gáz ellátás), valamint a külső szolgáltatók által biztosított, a betegellátáshoz nélkülözhetetlen szolgáltatásokat, mint például az orvosi gáz ellátást, élelmezési szolgáltatást. Amennyiben a tűz oltása nem tud rövid időn belül megtörténni és az egészségügyi intézmény épületének kiürítésére van szükség, akkor a mentésirányítást is érinti, mivel betegellátás átirányítására van szükség. Katasztrófa esetén a kórházak hatékony és folyamatos működését várják a sérült betegek egészségügyi ellátása érdekében. A sérült betegek orvosi ellátását azonban érintheti, ha a kórházak nem kapnak kellő támogatást a kritikus mérnöki infrastruktúrákhoz (CEI), például az elektromos áramhoz, a vízellátáshoz, az orvosi gázhoz és a közúti közlekedési hálózatokhoz való hozzáféréshez. [9]

3. Gázrobbanás veszélyei az egészségügy (ROLE 1-4) területein

Az egészségügyi szervezetek képességeinek tekintetében négy jól elkülöníthető szintet különböztetünk meg (ROLE 1–4). Ezt a jelölési rendszert az Észak-atlanti Szerződés Szervezetének Szabványügyi Hivatala (NATO Standardization Office) az Összhaderőnemi Egészségügyi Ellátási Doktrinájában (AJP 4.10B. Allied Joint Medical Support Doctrine) is alkalmazza.

Ebben a rendszerben a ROLE 4 a legmagasabb szintű egészségügyi ellátó létesítmény, honi területen elhelyezkedő (katonai) kórház, amely a sebesültek, sérültek és betegek definitív egészségügyi ellátás (olyan gyógykezelési folyamatot, amely a beteg gyógyulásával és nem tovább utalásával zárul) teljes spektrumát – például szakorvosi/szaksebészeti eljárásokat, helyreállító sebészetet és rehabilitációt is – magában foglalja. Ezekben a létesítményekben szinte bárhol megtalálhatóak a különböző anyagokkal töltött nyomástartó edények (tartályok). Az előzőekben említett robbanási kockázatok veszélyei ebből adódóan itt jelentkeznek a legmarkánsabban. [10]

A ROLE 3 egészségügyi ellátó létesítmény – amely tartalmazza a sebészeti és elsődleges szaksebészeti szinteket, az intenzív terápiás egységet, az őrzött fektetőkapacitást és a szükséges diagnosztikai háttérrel is – egyik legfontosabb ismertetőjegye, hogy művelési területen, vagyis a katonai alakulatok bevetésének helyszínén telepített magasabb szintű fekvőbeteg-ellátó hely, illetve annak mindenoldalú támogatásához szükséges elemek, létesítmények összessége. [10] Ahogy a legmagasabb szintű ellátó létesítmény esetében is, a ROLE 3 besorolású elemeknél is megtalálható a 3. ábrán bemutatott gázpalackok valamennyi típusa. A veszélyeztetettség mértékében ebben az esetben nincs eltérés.

A ROLE 2 egészségügyi ellátó létesítményekben a betegek, sérültek fogadása, osztályozása és az élet- illetve végtagmentő sebészeti ellátás érhető el. Ezeknél a létesítményeknél a fent említett doktrina több, különböző képességekkel és kapacitással rendelkező szintet különböztet meg (R2F, R2B, R2F), de szem előtt tartva a tématerületünket, erre ebben a publikációban nem térünk ki. Fontos azonban megemlíteni, hogy a ROLE 2 ellátási szint, ha nem is nagy mértékű, de rendelkezik fekvőbeteg kapacitással is, ahol a különböző tartályos gázok épp úgy megjelennek, mint a sebészeti ellátás esetében például az oxigénpalackok is. [11] A különböző hadszíntereken ezek az ellátó létesítmények jelennek meg a leggyakrabban és a tématerületünket illető legtöbb probléma is itt jelentkezik.

A legalacsonyabb ROLE 1 szinten az elsődleges egészségügyi ellátás valósul meg. Itt jelennek meg azok a képességek, melyek a speciális elsősegély, osztályozás, vitális paraméterek helyreállítása és stabilizálása esetében szükségesek. Fontos szempont, hogy ROLE 1 szinten nincs

lehetőség szakellátásra, így a nyomástartó palackok megjelenésének gyakorisága, illetve az azok jelenlétéből származó robbanási, gyulladási kockázatok mértéke is elenyésző.

Az ideiglenes egészségügyi létesítmények, szükség kórházak és ellátóhelyek a legtöbb esetben olyan megterheléseknek vannak kitéve (például COVID idején, vagy egy-egy katonai harcérintkezés során), hogy a legnagyobb odafigyelés ellenére is megfelelnek a dolgozók a nyomástartó edények kockázatairól. Ahogy említettük, elég, ha egy palack szelepét olajos, zsíros kézzel érintjük meg, vagy valamilyen ruhadarab kerül a robbanásveszélyes palack közvetlen közelébe. Egy fokozott terhelésnek kitett ellátólétesítmény esetében ezeknek az apró hibáknak beláthatatlan következményei lehetnek. A felkészítéseknek éppen ezekre az időszakokra és az ott szerzett tapasztalatokra támaszkodva kell megvalósulnia, hiszen jobb tanulni ezekből a hibákból és szükséges mindent megtenni, hogy elkerüljük azokat.

A kutatásból levont következtetés, hogy kiemelt figyelemmel szükséges az orvosi gázpalackok, különösen az oxigénpalackok kezelését elvégezni az egészségügyi kritikus infrastruktúrában a balesetek, tüzesetek elkerülése és a betegellátás folyamatos biztosítása érdekében.

4. Hivatkozások

- [1] MSZ 6292:2009 Gázpalackok szállítása, tárolása és kezelése.
- [2] MSZ EN 1089-3:2011 Szállítható gázpalackok. A gázpalackok megjelölése (az LPG kivételével). 3. rész: Színjelölés.
- [3] 44/2016. (XI. 28.) NGM rendelet a nyomástartó berendezések és rendszerek biztonsági követelményeiről és megfelelőség tanúsításáról.
- [4] 35/2014. (XI. 19.) NGM rendelet egyes szállítható nyomástartó berendezések üzemeltetésével kapcsolatos műszaki biztonsági követelményekről és a Gázpalack Biztonsági Szabályzatról érvényes.
- [5] 2/1998. (I. 16.) MüM rendeletet a munkahelyen alkalmazandó biztonsági és egészségvédelmi jelzésekről.
- [6] EIGA Doc 04 Fire Hazards of Oxygen and Oxygen Enriched Atmospheres (2018) Brussels, <https://www.eiga.eu/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=3371&token=a378faf4d18ff8a6d1c208a4a3d32bce1d47f6bc>. (Letöltve: 2023.11.22.)
- [7] Maureen Heraty Wood - Mark Hailwood - Konstantinos Koutelos (2021): Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients, Process Safety and Environmental Protection, Volume 153, 2021, Pages 278-288, ISSN 0957-5820, In.: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.023>.
- [8] Intensive Care Medicine (FICM) and the Intensive Care Society (ICS) Guidelines for the Provision of Intensive Care Services(2nd ed.) (2019) June 2019, <https://www.ficm.ac.uk/sites/default/files/gpics-v2.pdf>. (Letöltve: 2023.11.22.)
- [9] Rimfiel Janius - Khalina Abdan - Zairul Ain Zulkafli (2017): Development of a disaster action plan for hospitals in Malaysia pertaining to critical engineering infrastructure risk analysis, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 21, 2017, Pages 168-175, ISSN 2212-4209, In.: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.12.002>.
- [10] Szepesváry Zsolt - Pelcz Dominika (2021): Az egészségügyi szűrés kockázatelemzésen alapuló új modellje. Hadmérnök 16. évf. 2021/1. 185–195. DOI: 10.32567/hm.2021.1.12.
- [11] AJP 4.10(B). Allied Joint Medical Support Doctrine. Ch.5. Force Health Protection. NATO Standardization Office, 2015.



Eltérő polimer lemezek kavaráó dörzshegesztésének erőtani vizsgálata

Force analysis of friction stir welding of dissimilar polymer plates

¹Stadler Róbert Gábor, ²Horváth Richárd

¹Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, stadler.robort@bgk.uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A polimerek napjaink vezető anyagcsoportja, szinte az összes iparágban találkozhatunk velük. A széles elterjedésnek köszönhetően egyre nagyobb hangsúly van ezeknek az anyagoknak a hegesztésén. Az azonos polimerek hegesztése mellett népszerű kutatási terület a különböző típusú polimerek egymással történő hegeszthetőségének vizsgálata különböző eljárásokkal. Jelen tanulmányban kavaráó dörzshegesztéssel vizsgáltuk az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) és polipropilén (PP) egymással történő hegeszthetőségét. A vizsgálatok során 3-3 szinten változtattuk a hegesztési paramétereket (szerszám fordulatszám és előtolási sebesség). A vizsgálatok során erőmérővel figyeltük és elemeztük a hegesztési folyamat során fellépő erőket. Kulcs szavak: kavaráó dörzshegesztés (FSW), polipropilén (PP), akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), hegesztési erő mérés

Abstract

Nowadays polymers are leading group of materials. They are used in almost every industry. Their intensive use makes welding of these materials more important. In addition to welding of similar polymers, a popular area of research is to investigate the weldability of different types of polymers using different welding technologies. In the present study, the weldability of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and polypropylene (PP) was investigated by friction stir welding. Welding parameters (tool speed and feed rate) were varied in 3-3 levels during the tests. The forces generated during the welding process were monitored and analysed by a force dynamometer.

Key words: friction stir welding (FSW), polypropylene (PP), acrylonitrile butadiene styrene (ABS), welding force measurement

1. Bevezetés

A kavaráó dörzshegesztés egy hatékony és megbízható szilárdtest-összekötési módszer. A technológiát a 90-es évek elején fejlesztették ki [1], kifejezetten az olyan anyagokra (pl.: nem vas fémek), amelyek a klasszikus hegesztési eljárásokkal nem, vagy csak nehezen hegeszthetőek. A 2000-es évek elején pedig elkezdtek a technológia alkalmazhatóságát vizsgálni polimer anyagokra is [2]. Az eljárás a mechanikai súrlódás elvén alapszik. Az összehegesztési kívánt anyagok illesztése mentén bevezetett forgó szerszám biztosítja a hegesztési hőmérsékletet, aminek köszönhetően az anyagok összehegednek. A forgó mozgást végző szerszám biztosítja a megömlesztett anyagok homogén eloszlását is a hegesztési zónában.

A hegesztési technológiát széleskörben alkalmazzák már az iparban alumínium anyagok esetén [3]. A technológia előnyei közé sorolható, hogy könnyen automatizálható és magas kötési hatékonyságot lehet elérni. Ezekon kívül energia- és környezetbarát hegesztési eljárás [4].

Polimerek esetén érdemes még kiemelni, hogy megoldást jelenthet a hőre lágyuló műanyag kompozitok hegeszthetőségi problémájára, valamint vastagabb polimer lemezek hegesztése is megvalósítható [5]. Nem véletlen, hogy számos kutatás és publikáció foglalkozik a polimerek kavaráó dörzshegesztésével [4,6] Az egyes kutatási területek közül kiemelkedik az eltérő polimer anyagok hegesztése, ami nem csak a kavaráó dörzshegesztés, de más hegesztési eljárások (pl.: ultrahang hegesztés [7] vagy lézerhegesztés [8]) esetén is népszerű kutatási irányzatnak számít.

Dashatan és tsi. [9] poli(metil-metakrilát) (PMMA) és akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) kavaráó dörzspont hegesztését (FSSW) vizsgálták. 3-3 szinzen változtatták a tartózkodási időt, a bemeárlési sebességet, valamint a szerszám fordulatszámot. A hegesztési varratok szilárdsága volt a kimeneti paraméter. A mérési eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a tartózkodási idő növelve javul a varrat szilárdság, míg a bemeárlési sebességet növelve csökken. A legmagasabb szilárdsági paramétert 800 1/perc fordulatszám mellett kapták

Eslami és tsi. [10] polipropilén (PP) és polietilén (PE) lemezek átlapolat kavaráó dörzshegesztését vizsgálták. A hegesztési vizsgálatok során változtatták a szerszám csapjának a geometriáját és magasságát, a szerszám fordulatszámát, valamint az előtolási sebességet. A vizsgálatok során álló váll kialakítású szerszámot alkalmaztak. A kimeneti paraméter a varrat szilárdsága volt, amit szakító vizsgálatall határoztak meg. Mérési eredményeik alapján a legnagyobb hatással az előtolási sebesség volt. A varratok szilárdsága magasabb előtolási sebességen, fordulatszámön és csap magaság mellett javultak.

Hajideh és tsi. [11] szintén polietilén (PE) és polipropilén (PP) lemezek kavaráó dörzshegesztését vizsgálták, különböző szerszám geometriák alkalmazása mellett. A vizsgálatok során 4 különböző szerszámgeometriát alkalmaztak (menetes hengeres, négyzet keresztmetszetű, háromszög keresztmetszetű és egyenes hengeres). Az alkalmazott szerszám konstrukció álló váll kialakítású volt. A szerszám geometrián kívül 3-3 szinten változtatták az előtolási sebességet és a szerszám fordulatszámot is. A kimeneti paraméter a varratok szilárdsága volt. A mérési eredményeik alapján megállapították, hogy az előtolási sebesség növelése javítja a varrat szilárdságot. A legmagasabb szilárdsági értékeket a menetes hengeres szerszámmal kapták.

Miranda és tsi. [12] Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) és Polipropilén (PP) lemezek eltérő anyagok kavaráó dörzshegesztési vizsgálatát végezték el. Vizsgálataik során 3 különböző szerszám geometriát alkalmaztak, valamint különböző szinten változtatták többek között a szerszám fordulatszámot és az előtolási sebességet. Kimeneti paraméterként vizsgálták a varratok keménységét és szilárdságát, ezenkívül vizsgálták az anyagáramlást a hegesztési varratban. A vizsgálatok során arra a következtetésre jutottak, hogy a két anyag hegeszthetősége megvalósítható a technológiával, ugyanis sikerült elérni az alapanyagok szakítószilárdságának közel 90%-át. A keménységmérések alapján a varrat keménysége csökkent az alapanyagok keménységéhez képest.

Jelen tanulmányban szintén akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) és polipropilén lemezek hegeszthetőségét vizsgáljuk kavaráó dörzshegesztéssel. Az eddigi vizsgálatok nem térnek ki a hegesztés során fellépő erőkre, így vizsgálataink során figyeljük és elemezzük a fellépő erőkomponenseket és azoknak az alakulását, hogy átfogóbb képet kapjunk az eltérő polimer lemezek hegeszthetőségéről.

2. Anyagok és módszertan

A hegesztési vizsgálatok során 4 mm vastag akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) és szintén 4 mm vastag polipropilén (PP) lemezeket hegesztettünk össze egymással egy Mazak Nexus VCN 410A-II típusú CNC marógéppel. A hegesztések során alkalmazott szerszám forgó váll kialakítású volt,

valamint hengeres csap geometriával rendelkezett. A csap átmérője 12 mm volt, míg a váll átmérője 30 mm. A hegesztési kísérletek során teljes kísérlettervet alkalmaztunk, a paramétereket a szakirodalom és az előtolási sebesség alapján határoztuk meg. A vizsgálatok során 3-3 szinten változtattuk szerszám fordulatszámot és az előtolási sebességet, így 9 mérési pontot határoztunk meg. Az alkalmazott hegesztési paramétereket az 1. táblázatban tüntettük fel.

1. táblázat: A kísérletek során használt hegesztési paraméterek

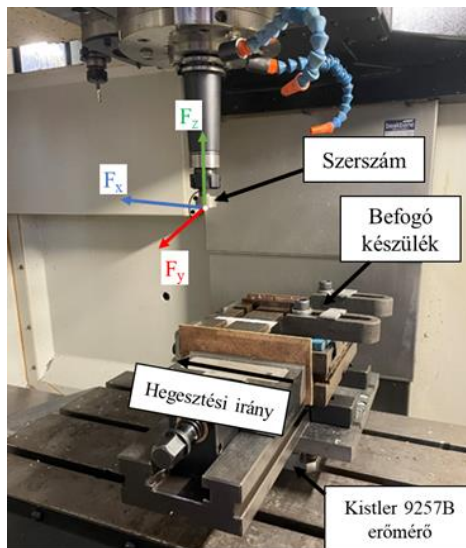
Paraméterek		Szintek		
		1	2	3
x_1	Hegesztési fordulatszám – n , $l/perc$	1000	1250	1500
x_2	Előtolási sebesség – v_f , $mm/perc$	25	50	75

A hegesztési folyamatok során az erő komponenseket (F_x , F_y , F_z - lásd 1. ábra) a munkadarab befogó készüléke alá felszerelt Kistler 9257B típusú piezoelektromos elven működő erőmérőcellával mértük. Az erőmérő mérési tartománya $F_x = F_y = -5...5$ kN és $F_z = - 5...10$ kN [13].

A három mért erőérték segítségével a hegesztéskor fellépő eredő erőt számoltunk az alábbi módon.

$$F_e = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

A hegesztés során alkalmazott mérési elrendezést az 1. ábra szemlélteti



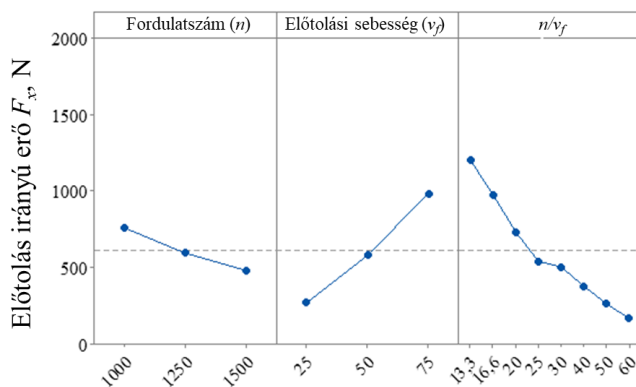
1. ábra: Mérési elrendezés

3. Eredmények bemutatása

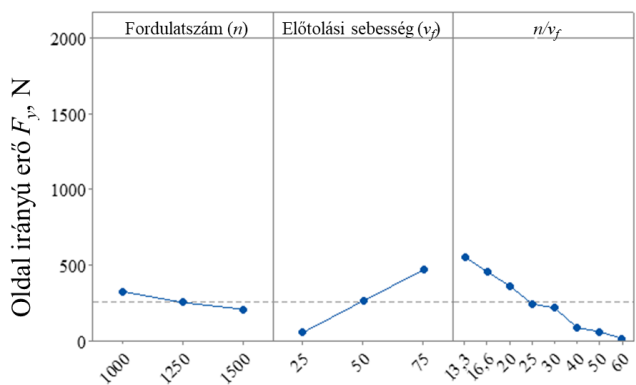
A 2. táblázatban láthatóak az egyes mérési pontokban mért átlag erőkomponensek és eredő hegesztési erő. A 2. ábrán az előtolás irányú erő (F_x), a 3. ábrán az oldal irányú erő (F_y), a 4. ábrán az axiális irányú erő (F_z), míg a 5. ábrán az eredő hegesztési erő (F_e) főhatás ábrája látható. A 6. ábrán pedig egy tipikus erőkép alakulása és egy tipikus varrat kép látható.

2. táblázat Az egyes mérési pontokban mért erő értékek és az eredő hegesztési erő

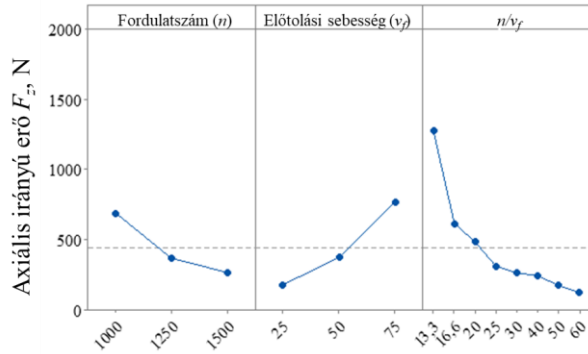
Mérési pont	Szerszám fordulatszám (n), 1/perc	Előtolási sebesség (v_f), mm/perc	n/v_f	Előtolás irányú erő (F_x), N	Oldal irányú erő (F_y), N	Axiális irányú erő (F_z), N	Eredő hegesztési erő (F_e), N
1	1000	25	40	376	86	240	454
2	1000	50	20	692	330	548	942
3	1000	75	13,33	1203	554	1274	1838
4	1250	25	50	261	58	172	318
5	1250	50	25	539	243	308	667
6	1250	75	16,67	976	454	614	1239
7	1500	25	60	164	14	119	203
8	1500	50	30	503	215	261	606
9	1500	75	20	772	391	415	960



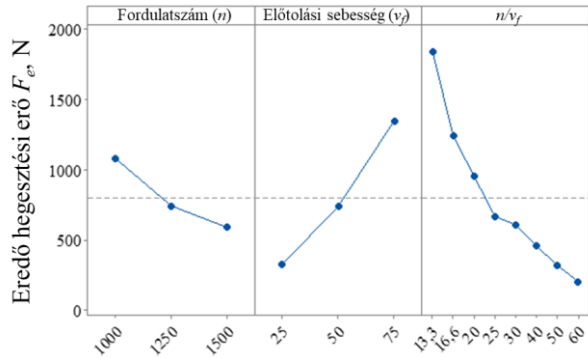
2. ábra Az előtolás irányú erő (F_x) főhatás ábrája



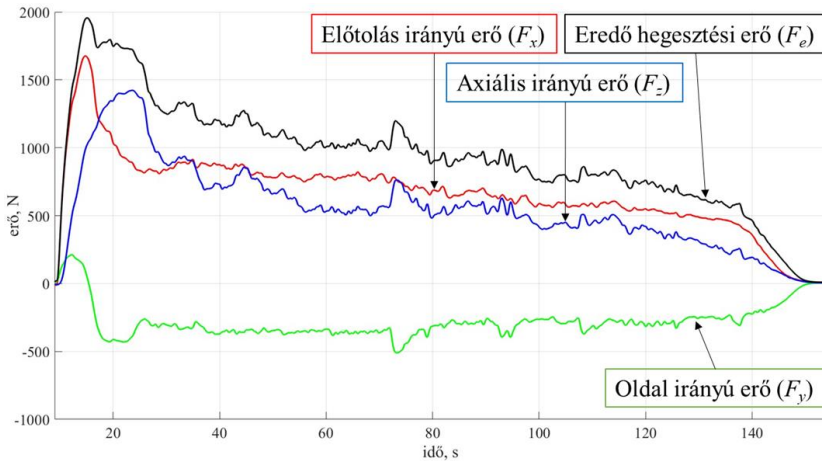
3. ábra Az oldal irányú erő (F_y) főhatás ábrája



4. ábra Az axiális irányú erő (F_z) főhatás ábrája



5. ábra Az eredő hegesztési erő (F_e) főhatás ábrája



6. ábra: Tipikus erő- és varratkép

A főhatás ábrákról jól megfigyelhető, hogy az egyes hegesztési paraméterek, illetve azok arányának (n/v_f) változása minden erőkomponensre és ezáltal az eredő hegesztési erőre is ugyanolyan hatással van. A fordulatszámot és az n/v_f arányszámot növelve a hegesztési erők csökkenő tendenciát mutatnak, míg az előtolási sebesség növelésével a hegesztés során fellépő erőkomponensek is növekednek. Az erőkomponensek közül érdemes kiemelni az oldalirányú erőt (F_y). A mért erőképek azt mutatják, hogy nincsenek jelentős eltérések az azonos polimerek hegesztési erőképeivel kapcsolatban. Itt is megfigyelhető, hogy a hegesztési folyamat elején ugrásszerűen megnőnek az erőkomponensek, majd egy idő után beállnak egy egyenletes erőszakaszra. Az egyedüli eltérés az oldalirányú erő alakulásában volt. Az azonos polimer anyagok hegesztése során nem keletkezik jelentős oldal irányú erő (F_y)[13,14], azonban a mostani mérési eredmények azt mutatják (lásd 6. ábra), hogy eltérő polimer anyagok esetén jelentős mértékben megnő ez az irányú erő komponens. Ennek az lehet a magyarázata, hogy a két különböző anyag különböző ellenállást fejt ki a szerszámmra, így az egyik irányba magasabb erő értékek keletkezhetnek.

4. Konklúzió

Jelen tanulmányban eltérő polimer lemezeket (ABS és PP) kavarázó dörzshegesztettünk különböző hegesztési paraméterek (szerszám fordulatszám és előtolási sebesség) mellett. A hegesztési folyamat során mértük a folyamat során keletkező erő komponenseket és ebből eredő hegesztési erőt is számoltunk. Vizsgáltuk a különböző hegesztési paraméterek hatását a hegesztési erőkre, valamint elemeztük a kapott erőképeket. A mérések alapján megállapítható, hogy az azonos polimer lemezek során mért erőképekkel ellentétben csak az oldal irányú erő (F_y) mutat jelentős eltérést. Eltérő anyagok hegesztése esetén ez az irányú komponens is jelentős értéket mutat a folyamat során, ami az eltérő anyagok szerszámmal szembeni ellenállásával magyarázható. Továbbá az is megállapítható a mérési eredmények alapján, hogy a fordulatszámot és az n/v_f arányszámot növelve a hegesztési erők csökkenő tendenciát mutatnak, míg az előtolási sebesség növelésével a hegesztés során fellépő erőkomponensek is növekednek.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alpból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

5. Hivatkozások

- [1] Thomas, W. M., Nicholas, E. D., Needham, J. C., Murch, M. G., Templesmith, P., & Dawes, C. J. (1991). International patent application no (No. 9125978.8, p. 6). PCT/GB92/02203 and GB patent application.
- [2] Nelson, T. W., Sorenson, C. D., & Johns, C. J. (2004). U.S. Patent No. 6,811,632. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [3] Ahmed, M. M., El-Sayed Seleman, M. M., Fydrych, D., & Çam, G. (2023). Friction Stir Welding of Aluminum in the Aerospace Industry: The Current Progress and State-of-the-Art Review. *Materials*, 16(8), 2971.
- [4] Lambiase, Francesco, Hamed Aghajani Derazkola, and Abdolreza Simchi. "Friction stir welding and friction spot stir welding processes of polymers—state of the art." *Materials* 13.10 (2020): 2291
- [5] Czigány, T., and Z. Kiss. "Friction stir welding of fiber reinforced polymer composites." In *Proceedings of the 18th International Conference on Composite Materials*, pp. 21-26.

Jeju, South Korea: ICCM, 2011.

- [6] Huang, Y., Meng, X., Xie, Y., Wan, L., Lv, Z., Cao, J., & Feng, J. (2018). Friction stir welding/processing of polymers and polymer matrix composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 105, 235-257.
- [7] Unnikrishnan, T. G., & Kavan, P. (2022). A review study in ultrasonic-welding of similar and dissimilar thermoplastic polymers and its composites. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3294-3300.
- [8] Juhl, T. B., Bach, D., Larson, R. G., Christiansen, J. D., & Jensen, E. A. (2013). Predicting the laser weldability of dissimilar polymers. *Polymer*, 54(15), 3891-3897.
- [9] Dashatan, S. H., Azdast, T., Ahmadi, S. R., & Bagheri, A. (2013). Friction stir spot welding of dissimilar polymethyl methacrylate and acrylonitrile butadiene styrene sheets. *Materials & design*, 45, 135-141.
- [10] Eslami, S., Farahani, B. V., Tavares, P. J., & Moreira, P. M. G. P. (2018). Fatigue behaviour evaluation of dissimilar polymer joints: Friction stir welded, single and double-rivets. *International Journal of Fatigue*, 113, 351-358.
- [11] Hajideh, M. R., Farahani, M., Alavi, S. A. D., & Ramezani, N. M. (2017). Investigation on the effects of tool geometry on the microstructure and the mechanical properties of dissimilar friction stir welded polyethylene and polypropylene sheets. *Journal of Manufacturing Processes*, 26, 269-279.
- [12] Miranda, M. S., Almaraz, G. D., López, J. V., & Vilchez, J. R. (2022). Dissimilar joining of ABS and PP using friction stir welding (FSW) and mechanical properties evaluation. *Procedia Structural Integrity*, 39, 161-172.
- [13] Stadler, G. R., Szebényi, G., & Horváth, R. (2023). Investigation of weld forces and strength of friction stir welded polypropylene. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 67(3), 183-189.
- [14] Stadler, R. G., & Horváth, R. (2023) Investigation of Welding Forces and Weld Strength for Friction Stir Welding of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Plates. *Acta Materialia Transylvanica*, 6/1, 53-58.



ATT60



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE