

Kultúra, technológia, innováció,
versenyképes növekedés



XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás

2022. október 5-6-7.

Támogatóink:

MESSER

Gases for Life



innotéka

tudomány • innováció • zöldkörnyezet

ELŐADÁSOK



**KULTÚRA, TECHNOLÓGIA, INNOVÁCIÓ,
VERSENYKÉPES NÖVEKEDÉS**

ELŐADÁSOK

**A XXX. HŐKEZELŐ ÉS ANYAGTUDOMÁNY A
GÉPGYÁRTÁSBAN ORSZÁGOS KONFERENCIA
ÉS SZAKKIÁLLÍTÁS KÜLFÖLDI RÉSZTVEVŐKKEL**



**BALATONFÜRED
HOTEL BLAHA LUJZA
Blaha Lujza u. 4.
2022. október 5-6-7.**

SZERKESZTETTE:

Dr. Tóth Tamás, Szakáts Gergely

A KONFERENCIA ELNÖKE:

Dr. Tóth Tamás

A SZERVEZŐBIZOTTSÁG TAGJAI:

Antal Péter
Dr. Csurbakova Tatjana
Dr. Dévényi László
Dr. Dobránszky János
Dr. Felde Imre
Ferenci Norbert
Dr. Gácsi Zoltán
Hanyecz Imre
Juhász Gyula
Kajtár Péter
Kummer Zoltán
Dr. Kuzsella László
Dr. Mertinger Valéria
Dr. Réger Mihály
Dr. Tranta Ferenc

LEVELEZÉSI CÍM:

XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia és Szakkiállítás Külföldi Résztevőkkel

Dr. Tóth Tamás

E-mail: ttothdr@citromail.hu

Telefon: +36 70 2377776

ISBN 978-615-5270-76-5

TARTALOM

Program	6
Előadások	15
Dr. Mertinger Valéria, Szobota Péter, Sepsi Máté Cementált és karbonitridált rétegek minősítése roncsolásmentes módszerrel	16
Dr. Réger Mihály, Horváth Richárd, Oláh Ferenc, Széll Attila Felületi rétegek jellemzésének lehetőségei keménységméréssel	25
Szabó Tamás Roncsolásmentes betétedzett kéregvastagság mérés HTD-eljárással	32
Dr. Cselle Tibor Hőkezelt formaszerszámok új ipari bevonatai	41
íjf. György Rábel, R. Zemlicka, Y. Li, P. Tapp, H. Bolvardi, A. Lümkemann Komplex geometriák plazma etching optimalizációja a PLATIT 3D etching-indikátorának segítségével	50
Dr. Sipos Sándor, Dr. Cselle Tibor, Rábel György jr., Rábel György sr. Gyors vizsgálat eljárás bevonatos menetszerszámok hatékonyságának meghatározására....	51
Dr. Bíró Andrea BALIMED PVD bevonatok az egészségügyben	56
Virágh Zsolt Digitalizáció a hőkezelésben, avagy a hőkezelő berendezés paramétereinek elérése valós időben, távolról	62
Antal Péter A valóság a legjobb tanító!	65
Dr. Tóth László, Dr. Fábián Enikő Réka A Böhler K340 acél hűtési paramétereinek hatása a szerszám minőségére	69
Kondás Béla, Dr. Mertinger Valéria Konvencionális és nem konvencionális lágyítás hatása DC01 acél ecetén	78
Demeter Dániel, Kokas Péter Az ipari gázok szerepe a biztonságos és hatékony hőkezelési folyamatokban	83

Rácz Gergely CQi9 követelményrendszer a hőkezelésben	91
Sepsi Máté, Al-Hraishawi Hussein, Bubonyi Tamás, Dr. Barkóczy Péter, Dr. Mertinger Valéria Feszültségcsökkentő hőkezelés hatása a maradó feszültség állapotra	96
Rutscher András, Kiri Alexandra, Dr. Weltsch Zoltán Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon	102
Varga Zsolt, Újhelyi Milán Korszerű vákuumhőkezelési technológiák és berendezések bevezetése a FLANSCH-TECH Kft-nél	109
Fazekas Péter A PVD bevonatok különleges felhasználási területei	116
Kaushik Hebbar Kannur, Széll Attila MoSN, egy új szilárd kenőanyag előállítása PVD technológiával	132
Somogyi János 8 óra munka, 8 óra pihenés... Mindennapok a Csepeli Szerszámedző Kft-nél	142
Bede Martin, Dr. Tóth László Optimális paraméterek meghatározása Dievar melegmunkaacél szerszámok hőkezelése során	152
Christoph Schneider, Diószeghy Zoltán AICHELIN: Kamrás kemencék 2032-ben – PIACOK, AUTOMATIZÁCIÓ, ZÖLD ENERGIA, BIZTONSÁG	161
Diószeghy Zoltán CODINA: CODINA láncok folyamatos üzemű kemencékhez – a DPT Kft. új képviselete Magyarországon	166
Dr. Kuzsella László Betétedzés számítógépes modellezése	173
Dr. Sályi Zsolt, Dr. Benke Márton Boridálás alkalmazása növelt élettartamú szelektív forrasztószerszámok fejlesztéséhez	188
Kemény Alexandra, Iklódi Zsolt, Bubonyi Tamás, Leveles Borbála, Károly Dóra, Orbulov Imre Norbert Gradiens szintaktikus fémhabok effektív rugalmassági- és nyírómodulusa	201

Biczó Zoltán Bálint, Dr. Felde Imre, Oscar Zappata, Kovács Levente Gépi tanulási modellek alkalmazása acélok megeresztési technológiájához	208
Farkas Árpád A hatékony energiafelhasználás buktatói az indukciós hevítés közben	216
Kárpáti Viktor, Dr. Kaptay György, Korózs József, Dr. Nagy Erzsébet, Dr. Szabó Gábor, Dr. Barna Dániel, Dr. Koncz- Horváth Dániel, Dr. Mertinger Valéria NbTi/Cu szupravezető kompozit előállítása termomechanikus kezeléssel	224
Dr. Dobránszky János A Blücher-kemencék jelentősége a fémmátrixú összetett anyagok kutatásában	236
Bubonyi Tamás, Dr. Barkóczy Péter, Kemény Alexandra, Dr. Gácsi Zoltán <i>In situ</i> tomográfia alkalmazásának előnyei a szerkezetvizsgálatban	246
Kaztup Ágota, Dr. Fegyverneki György, Dr. Gácsi Zoltán Poroitás vizsgálata nem hétköznapi módon, in situ komputertomográfias vizsgálattal	253
Dr. Czagány Máté, Dr. Baumli Péter, Dr. Kaptay György Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus viselkedésének vizsgálata	260

PROGRAM

8.00 Vendégek érkezése, regisztráció

11.00 MEGNYITÓ

A XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferenciát megnyitja

Dr. Tóth Tamás

főiskolai tanár

a konferencia elnöke

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Tóth Tamás

főiskolai tanár

11.15 Dr. Mertinger Valéria, Szobota Péter, Sepsi Máté

Miskolci Egyetem

Cementált és karbonitridált rétegek minősítése roncsolásmentes módszerrel

11.35 Dr. Réger Mihály¹, Horváth Richárd¹, Oláh Ferenc¹, Széll Attila²

(1) Óbudai Egyetem, (2) TS Magyarország Kft.

Felületi rétegek jellemzésének lehetőségei keménységméréssel

11.55 Szabó Tamás

GRIMAS Kereskedelmi Kft.

Roncsolásmentes CHD kéregvastagság mérés HTD eljárással

12.15 Hozzászólások

12.30 **Ebéd** (Hotel Blaha Lujza)

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Mertinger Valéria

egyetemi tanár

Miskolci Egyetem

- 14.00 Dr. Cselle Tibor
PLATIT AG - Idea-Lab, Svájc
Hőkezelt formaszerszámok új ipari bevonatai
- 14.20 ifj. Rábel György
PannonPLATIT Kft.
Komplex geometriák plazma etching optimalizációja a PLATIT 3D etching-indikátorának segítségével
- 14.40 id. Rábel György
PannonPLATIT Kft.
Gyors vizsgálati eljárás bevonatos menetszerszámok hatékonyságának meghatározására
- 15.00 Dr. Bíró Andrea
Oerlikon Balzers Coating Austria GmbH Magyarországi Fióktelepe
BALIMED PVD bevonatok az egészségügyben
- 15.20 Hozzászólások
- 15.35 Kávészünet

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Réger Mihály

egyetemi tanár

Óbudai Egyetem

- 16.10 Antal Péter, Virágh Zsolt
ANTAL Ipari és Kereskedelmi Kft.
Digitalizáció a hőkezelésben, avagy a hőkezelő berendezés paramétereinek elérése valós időben, távolról
- 16.30 Antal Péter, Virágh Zsolt
ANTAL Ipari és Kereskedelmi Kft.
A valóság a legjobb tanító!
Hőkezelő berendezéseknél felvetődő apró, de mégis nagy jelentőségű problémák felismerése, megoldása
- 16.50 Dr. Tóth László, Dr. Fábíán Enikő Réka
Óbudai Egyetem
A Böhler K340 acél hűtési paramétereinek hatása a szerszám minőségére
- 17.10 Kondás Béla, Dr. Mertinger Valéria
Miskolci Egyetem
Konvencionális és nem konvencionális lágyítás hatása DC01 acél esetén
- 17.30 Hozzászólások
- 19.30 **Svédasztalos fogadás** (Hotel Blaha Lujza)

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Tóth László

egyetemi docens

Óbudai Egyetem

- 9.00 Kokas Péter, Demeter Dániel
Linde Gáz Magyarország Zrt.
Ipari gázok szerepe a biztonságos és hatékony hőkezelési folyamatokban
- 9.20 Rácz Gergely
Borsodi Műhely Kft.
CQI9 követelményrendszer a hőkezelésben
- 9.40 Sepsi Máté, Al-Hraishawi Hussein, Bubonyi Tamás,
Dr. Barkóczy Péter, Dr. Mertinger Valéria
Miskolci Egyetem
Feszültségcsökkentő hőkezelés hatása a maradó feszültség állapotra
- 10.00 Dr. Weltsch Zoltán
Neumann János Egyetem
Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon
- 10.20 Hozzászólások
- 10.35 Kávészünet

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Fábián Enikő Réka

egyetemi docens

Óbudai Egyetem

- 11.10 Varga Zsolt, Újhelyi Milán
Flansch-Tech Kft.
Korszerű vákuumhőkezelési technológiák és berendezések bevezetése a FLANSCH-TECH Kft-nél
- 11.30 Fazekas Péter
TS Magyarország Kft.
A PVD bevonatok különleges felhasználási területei
- 11.50 Széll Attila
TS Magyarország Kft.
MoSN, egy új szilárd kenőanyag előállítása PVD technológiával
- 12.10 Somogyi János
Csepeli Szerszámedző Kft.
8 óra munka, 8 óra pihenés...
Mindennapok a Csepeli Szerszámedző Kft-nél
- 12.30 Hozzászólások
- 12.45 **Ebéd** (Hotel Blaha Lujza)

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Fazekas Péter

ügyvezető

TS Magyarország Kft.

- 14.15 Bede Martin¹, Dr. Tóth László²
(1) Titán '94 Kft., (2) Óbudai Egyetem
**Optimális paraméterek meghatározása DIEVAR melegmunkaacél
szerszámok hőkezelése során**
- 14.35 Christoph Schneider¹, Diószeghy Zoltán²
(1) Aichelin GmbH, Ausztria; (2) Aichelin képviselet, DPT Kft.
**AICHELIN: Kamrás kemencék 2032-ben – PIACOK, AUTOMATIZÁCIÓ,
ZÖLD ENERGIA, BIZTONSÁG**
- 14.55 Diószeghy Zoltán
Aichelin/Codina képviselet, DPT Kft.
**CODINA: CODINA láncok folyamatos üzemű kemencékhez – a DPT Kft.
új képviselete Magyarországon**
- 15.15 Dr. Kuzsella László
Miskolci Egyetem
Betétedzés számítógépes modellezése
- 15.35 **Hozzászólások**
- 16.40 Találkozás a Hotel Blaha Lujza előtt, séta a hajóállomásra
- 17.00 **1 óras sétahajózás a 109 éves JÓKAI nosztalgiahajóval, borkóstolóval**
- 19.00 **Gálavacsora** (Hotel Blaha Lujza)

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Dobránszky János

tudományos tanácsadó

ELKH-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

- 9.00 Dr. Sályi Zsolt, Dr. Benke Márton
Miskolci Egyetem
Boridálás alkalmazása növelt élettartamú szelektív forrasztószerszámok fejlesztéséhez
- 9.20 Kemény Alexandra, Iklódi Zsolt, Leveles Borbála, Károly Dóra, Orbulov Imre Norbert
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gradiens szintaktikus fémhabok effektív rugalmassági-, és nyírómodulusa
- 9.40 Biczó Zoltán
Óbudai Egyetem
Gépi tanulási modell alkalmazása acélok megeresztési technológiájához
- 10.00 Farkas Árpád
Inductoheat Europe GmbH, Németország
A hatékony energiafelhasználás buktatói az indukciós hevítés közben
- 10.20 Kárpáti Viktor, Dr. Kaptay György, Korózs József, Dr. Nagy Erzsébet, Dr. Szabó Gábor, Dr. Barna Dániel, Dr. Koncz-Horváth Dániel, Dr. Mertinger Valéria
Miskolci Egyetem
NbTi/Cu szupravezető kompozit előállítás termomechanikus kezeléssel
- 10.40 Hozzászólások
- 10.55 Kávészünet

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Kuzsella László

egyetemi docens

Miskolci Egyetem

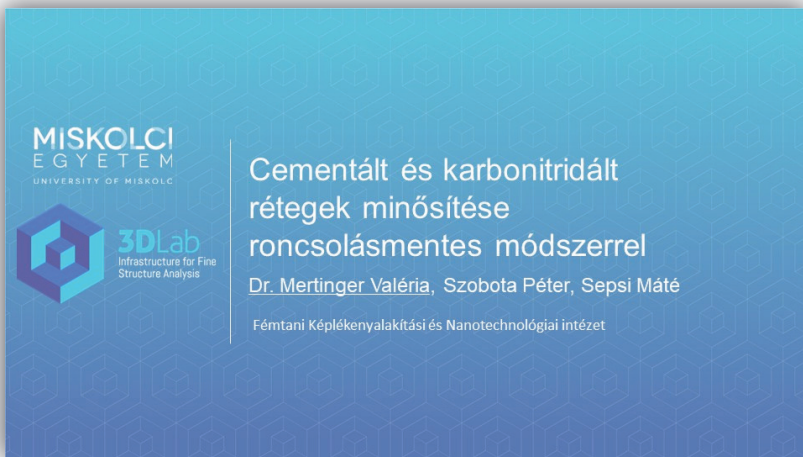
- 11.30 Dr. Dobránszky János
ELKH-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport
A Blücher-kemencék jelentősége a fémmátrixú összetett anyagok kutatásában
- 11.50 Bubonyi Tamás, Dr. Barkóczy Péter, Kemény Alexandra, Dr. Gácsi Zoltán
Miskolci Egyetem
***In situ* tomográfia alkalmazásának előnyei a szerkezetvizsgálatban**
- 12.10 Kazup Ágota, Dr. Fegyverneki György, Dr. Gácsi Zoltán
Miskolci Egyetem
Porozitás vizsgálata nem hétköznapi módon, *in situ* komputertomográfias vizsgálattal
- 12.30 Dr. Czagány Máté, Dr. Baumli Péter, Dr. Kaptay György
Miskolci Egyetem
Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus viselkedésének vizsgálata
- 12.50 Hozzászólások
- 13.05 **A KONFERENCIA MUNKÁJÁNAK ÉRTÉKELÉSE, ZÁRSZÓ**
- Dr. Tóth Tamás**
főiskolai tanár
a konferencia elnöke
- 13.30 **Ebéd** (Hotel Blaha Lujza)

ELŐADÁSOK

Cementált és karbonitridált rétegek minősítése roncsolásmentes módszerrel

Dr. Mertinger Valéria, Szobota Péter, Sepsi Máté

Fémteni Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai intézet, Miskolci Egyetem, Miskolc





Maradó feszültség



Maradó feszültség / saját feszültség / belső feszültség / rugalmas feszültség

A kristályos anyagban mechanikai feszültség egyensúly van a különböző módon rugalmasan deformálódott térfogatrészek között!

Ez az állapot akkor is fennmarad amikor a létrehozó hatás megszűnik.

I. Rendű / Makroszkópikus feszültségek
Okozhatja: hidegalakítás, hőkezelés, öntés, hegesztés

II. Rendű / Mikroszkópikus feszültségek
Okozhatja: Képlékenyalakítás

III. Rendű / Szubmikroszkópikus feszültségek
Okozhatja: A kristályrácscon belüli rendellenességek, vakancia, diszlokációk, interstíciós, szubsztitúciós atomok, koncentráció változás

XXX. Hőkezelő konferencia valeria.mertinger@uni-miskolc.hu 2

Maradó feszültség / saját feszültség / belső feszültség / rugalmas feszültség

A kristályos anyagban mechanikai feszültség egyensúly van a különböző módon **rugalmasan deformálódott** térfogatrészek között!

Difrakció!

I. Rendű / Makroszkópikus feszültségek
Okozhatja: hidegalakítás, hőkezelés, öntés, hegesztés

II. Rendű / Mikroszkópikus feszültségek
Okozhatja: Képlékenyalakítás

III. Rendű / Szubmikroszkópikus feszültségek
Okozhatja: A kristályrácscon belüli rendellenességek, vakancia, diszlokációk, intersztíciós, szubsztitúciós atomok, koncentráció változás

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$$

Difrakció!

I. Rendű / Makroszkópikus feszültségek
Okozhatja: hidegalakítás, hőkezelés, öntés, hegesztés

a kialakult feszültegyensúly a vizsgált anyagban nagyobb léptékben valósul meg, mint a besugárzott térfogat ezért a rácssíktávolság változása csak egyirányú

szögeltolódás

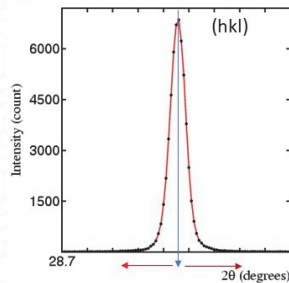
II. Rendű / Mikroszkópikus feszültségek
Okozhatja: Képlékenyalakítás

III. Rendű / Szubmikroszkópikus feszültségek
Okozhatja: A kristályrácscon belüli rendellenességek, vakancia, diszlokációk, intersztíciós, szubsztitúciós atomok, koncentráció változás

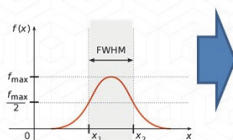
a kialakult feszültegyensúly a vizsgált anyagban kisebb léptékben valósul meg, mint a besugárzott térfogat ezért a rácssíktávolság változása többirányú

szélesedés

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$$



Mélységi maradó feszültség mérés +++



Dekarbonizáció



Cementálás

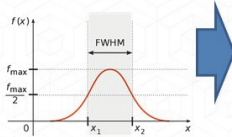


Karbonitridálás



Több mint maradó feszültség vizsgálat

Mélységi maradó feszültség mérés +++



Dekarbonizáció



XXX. Hőkezelő konferencia

Cementálás



valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

Karbonitridálás



5

Maradó feszültség mérése



Cementálás:

C45 melegen hengerelt

- Szilárdközegű (920°C/20 óra)
- Gázközegű (920°C/ 14 óra)

Levegő hűtés

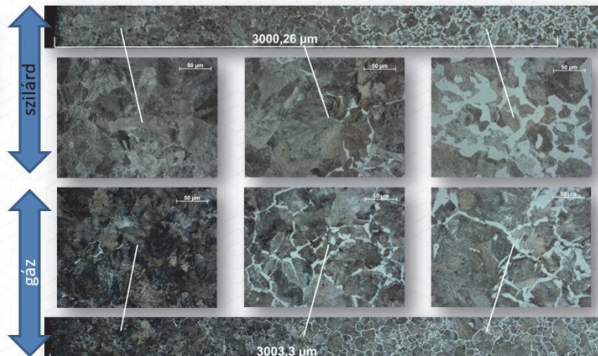
900°C, 0,5 óra, olaj

XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

6

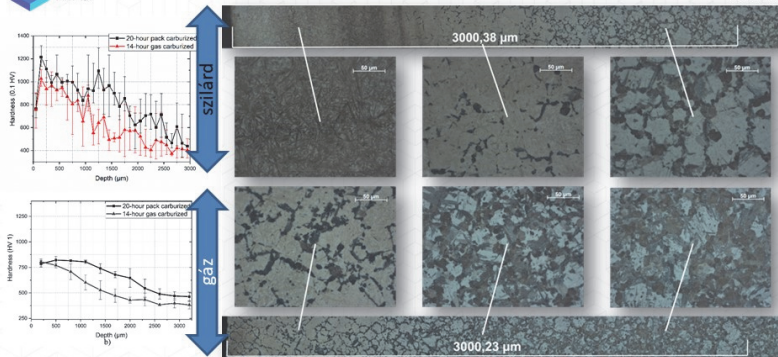
Cementálás Levegőn hűlt keresztmetszet



XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

7

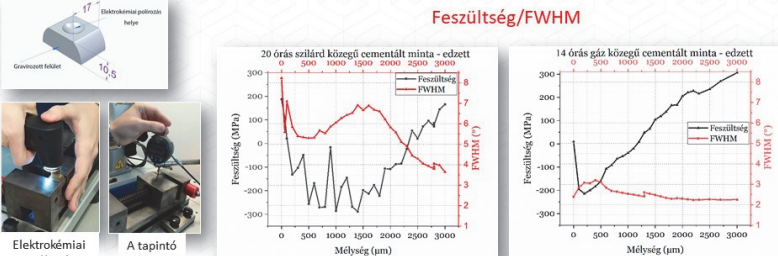


XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

8

Feszültség/FWHM



Elektrokémiai polírozás

A tapintó mérőóra

20 óra szilárd - edzett

14 óra gáz - edzett

XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

9

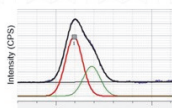


Ferrit
(211)

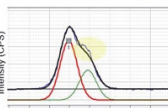
$Illesztő1 + \text{hátér} = \text{eredmény}$ $\longleftrightarrow$ mért

$Illesztő1 + illesztő2 + \text{hátér} = \text{eredmény}$ $\longleftrightarrow$ mért

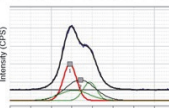
Nem egy fázis van jelen!!



Levegőn hűlt 500 µm (perlit)



Levegőn hűlt 2000 µm (perlit+ferrit)



Két különböző
kristallit
méretű ferrit

XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

10

Cementálás

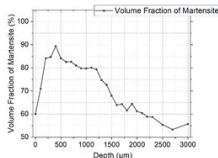
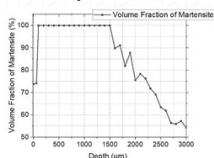


Csúcs dekonvolúcióval
az egyes
szövetelemekben lévő
fázisok megjelenése
kimutatható

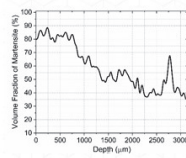
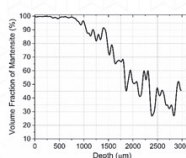
Martenzit hányad



Saját módszer



képelemzés



Karbonitridálás



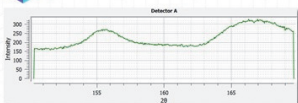
Karbonitridálás
(levegő vagy víz
hűtés)

Utóoxidálás

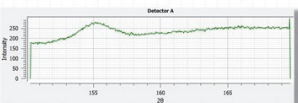
Szemcseszorás

A hűtés nem mutatott
bármilyen hatást.

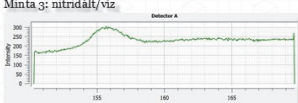
Karbonitridálás- felület



Minta 3: nitridált/víz



Minta 4: nitridált/víz+gyöngyszórt



Minta 7: nitridált/víz+utóoxidált



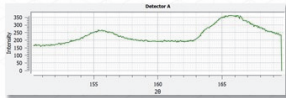
Minta 8: nitridált/víz+utóoxidált+gyöngyszórt

- A felület közeli mérések során nagyon nagy a háttér intenzitása és nagyon rossz a jel/ zaj viszony a ferrit {211} reflexiójára
- a ferrit reflexiójától jobbra megjelenik a vegyületi réteg egy reflexiója is,
- amennyiben szemcseszórt a minta, a plusz reflexió nagyon széles,
- amennyiben utóoxidált a minta, akkor is nagyon kiszélesedett a vegyületi réteg reflexiója

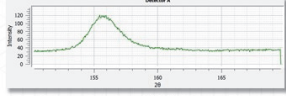
Karbonitridált/levegő hűtés

Mélység

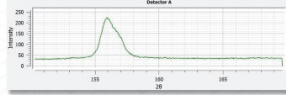
0 μm



18 μm



3000 μm

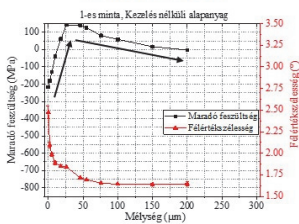


Vegyületi rétegvastagság + kéregvastagság meghatározása (diffúziós zóna)!

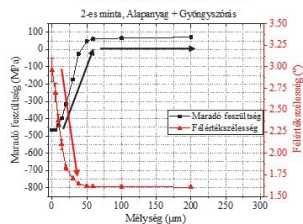
A mélység függvényében egy adott érték után a vegyületi reflexió már nem jelentkezik, és innentől befelé haladva a ferrit reflexió FWHM értéke is folyamatosan csökken, aminek következményeként egyre karakteresebb lesz a $K\alpha_1$ és $K\alpha_2$ szétválás, jól látható a 3000 μm -es adatnál.

Karbonitridálás

Alapanyag – AISI4130



Alapanyag + Gyöngyszórt



Előnémesített, megmunkált

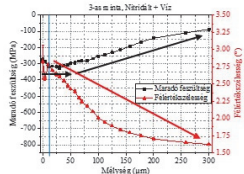


Húzó feszültség

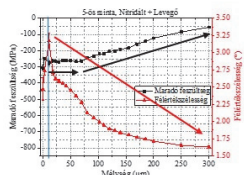
Karbonitridálás

Karbonitridált

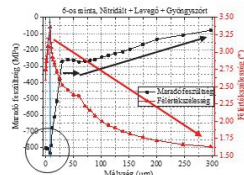
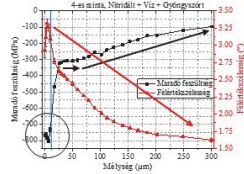
víz



levegő

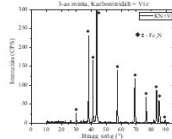


Karbonitridált + Gyöngyszórt

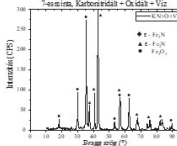


Karbonitridálás

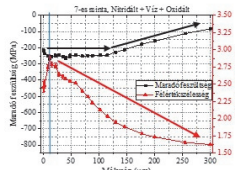
Karbonitridált



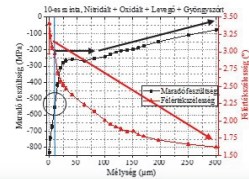
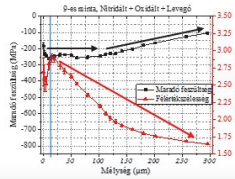
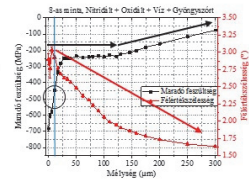
Karbonitridált + Oxidált



Karbonitridált + Oxidált

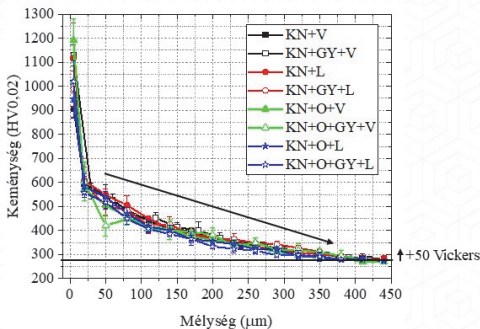


Karbonitridált + Oxidált + Gyöngyszórt



17

Karbonitridálás



1 Mérés átlaga:
4 párhuzamos vonal,
Vonalanként 14-15 pont

Minta-azonosító	Rétegvastagság
KN + Viz	290 μm
KN + Gyöngyszórt + Viz	300 μm
KN + Levegő	290 μm
KN + Gyöngyszórt + Levegő	320 μm
KN + Oxidált + Viz	290 μm
KN + Oxidált + Gyöngyszórt + Viz	320 μm
KN + Oxidált + Levegő	260 μm
KN + Oxidált + Gyöngyszórt + Levegő	230 μm

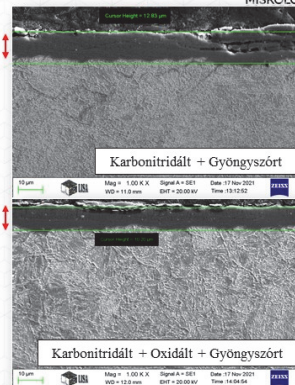
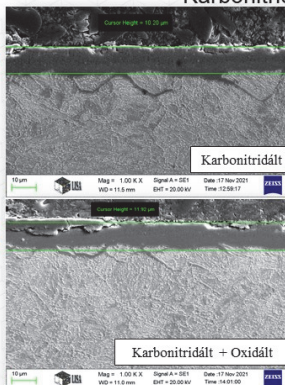
XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

18

Karbonitridálás

10-12 μm

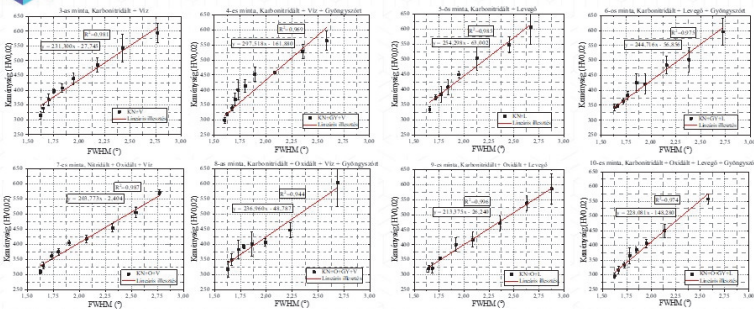


Diffúziós
zóna?

XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

19

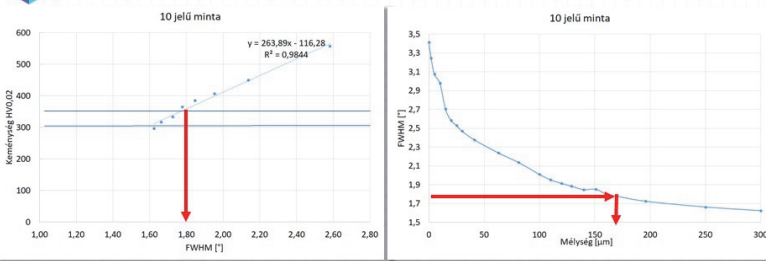


keménység ↔ FWHM

XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

20



egy alkalommal roncsolással

mélységi feszültségmérésből/
kvázi roncsolás mentesen

XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

21

Bonyolult mintakivágás
és mintaelőkészítés?

Megmondja a
rétegvastagságát
mind a két rétegnek?

Információt
nyújt a maradó
feszültségekről?

Keménységmérés



Metallográfia



Röntgendiffrakciós –
Maradó feszültség
mérések + saját
módszer



XXX. Hőkezelő konferencia

valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

22

- A minőségtervezés, a minőségbiztosítás támogatása
 - korszerű mikroszkópi technikák segítségével
 - korszerű mechanikai anyagvizsgálat segítségével
 - metallográfiai módszerek segítségével
 - korszerű röntgendiffrakciós fázisazonosítási módszerek alkalmazásával
- A kristálytani anizotrópia diffrakciós jellemzése
- Maradó feszültség röntgendiffrakcióval történő mérése
- Komputer tomográfiai alapismeretek
- Kovácsolás
- Acélok hőkezelésének alapjai

valeria.mertinger@ui-miskolc.hu

A próbatestek cementálását a KV-63 Kft,
 a karbonitridálását a TS Magyarország kft végezte (Széll Attila) . Nagy köszönet.

Köszönöm a figyelmet!

valeria.mertinger@ui-miskolc.hu

Sorszám	Karbonitridálás hőmérséklet/idő /hűtés	Utóoxidáció hőmérséklet/idő	Utólagos gyöngyszórás
1	-	-	-
2	-	-	4 bar
3	590°C / 2 óra/víz	-	-
4	590°C / 2 óra/víz	-	4 bar
5	590°C/ 2 óra/levegő	-	-
6	590°C/ 2 óra/levegő	-	4 bar
7	590°C / 2 óra/víz	430°C/0,5 óra	-
8	590°C / 2 óra/víz	430°C/0,5 óra	4 bar
9	590°C/ 2 óra/levegő	430°C/0,5 óra	-
10	590°C/ 2 óra/levegő	430°C/0,5 óra	4 bar

Felületi rétegek jellemzésének lehetőségei keménységméréssel

Dr. Réger Mihály¹, Horváth Richárd¹, Oláh Ferenc¹, Széll Attila²

¹ Óbudai Egyetem, Budapest

² TS Magyarország Kft., Budapest

Absztrakt

A szerszámacélokon alkalmazott duplex felületkezeléssel (karbonitridálás és PVD) kialakított bevonatok teljesítőképessége az alapanyag és a felületi rétegek összetett együttműködésének függvénye. A felületi keménységmérési eredmények megfelelő értelmezése lehetőséget nyújt a bevonati rendszer várható teherviselőképességének és viselkedésének minősítésére.

Abstract

The performance of coatings formed on tool steels by duplex surface treatment (carbonitriding and PVD) is a function of the complex interaction between the base material and the surface layers. A proper interpretation of the surface hardness measurement results provides an opportunity to qualify the expected load carrying capacity and service behaviour of the coating system.

1. Bevezetés

A fémötvözetek felületkezelésének eredményeképpen inhomogén keménységeloszlás jön létre az alkatrészek felületközeli tartományában. A felület közelében kialakult H_d mélységi keménységnek és a keménység mélység irányú eloszlásának ellenőrzése általában a kezelt felületre merőleges irányú csiszolaton történik. A mélységi keménységeloszlás a felülettől számított távolság függvénye, vagyis $H_d=H_d(x)$, ahol x a keménységmérési pont felülettől mért távolsága (1.a ábra).

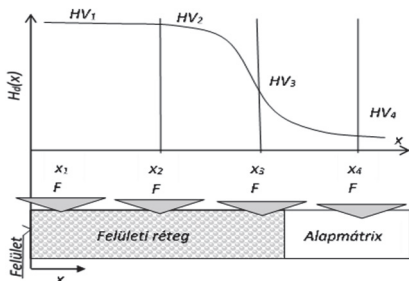
Az alkatrészek külső felületén elvégezhető felületi keménységmérés lényegesen egyszerűbb, nem igényel roncsolásos anyagvizsgálati eljárást, ugyanakkor az így meghatározott felületi keménység csak közvetett információkat hordoz a bevonat jellemzőire vonatkozóan. A H_s felületi keménység értéke függ az alkalmazott terhelőerő – ezáltal a benyomódási mélység – nagyságától, mivel a mért keménységi értéket nem csak a felület keménysége, hanem a felület alatti anyagrétegek (támasztóréteg, alpmátrix, határfelületek, repedési hajlam, stb.) tulajdonságai is befolyásolják. Bevonatok esetében a felületi keménységet H_c kompozit keménységként értelmezik, vagyis $H_c=H_s=H_s(h)$, ahol h a benyomódási, vagy indentációs mélység (1.b ábra).

A $H_s=H_s(h)$ (indentációs mélységtől függő) felületi keménységeloszlás és a $H_d=H_d(x)$ (felülettől mért távolságtól függő) keménységeloszlás között szoros a kapcsolat, mivel egy adott darabon a mélységi keménységeloszlás szabja meg a felületen mérhető keménységeloszlás jellemzőit.

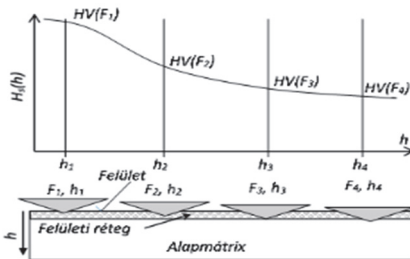
Ennek megfelelően a felületi keménységeloszlás a mélységi keménységeloszlásból levezethető függvénynek is tekinthető, illetve adott felületi keménységeloszlás esetén elvileg meghatározható az azt eredményező mélységi keménységfüggvény.

A $H_d(x)$ mélységi és a $H_s(h)$ felületi keménységeloszlási függvény között kapcsolatot teremtő átviteli függvény csak bizonytalansággal határozható meg. A bizonytalanság több tényezőbből adódik, melyek közül a legfontosabbak a következők:

- a keménység meghatározása eredendően (az eljárásból és mérési módszerből adódóan) bizonytalansággal terhelt,
- az indentáció során felületi maradó alakváltozás történhet (behúzódás – sink-in, kitüremkedés – pile-up), mely a keménységmérés eredményét befolyásolja, bizonytalanságát növeli,
- a keménységmérés során a kicsi alakváltozó képességű felületi rétegek sérülhetnek, repedések alakulhatnak ki az indentációs nyomban, vagy annak környezetében, a bevonati rétegek között, illetve az alpmátrix és a bevonat határán,
- inhomogén mélységi keménységeloszlás esetén a felületi keménység értelmezése nem egyértelmű, ennek leírására különböző közelítések és modellek szolgálnak,
- kis terheléssel, kicsi behatolási mélységgel végzett keménységmérésnél a mérethatásból adódhat hiba (indentation size effect, ISE).



a.) mélységi keménységeloszlás



b.) felületi keménységeloszlás

1. ábra A $H_d(x)$ mélységi és a $H_s(h)$ felületi keménységfüggvény értelmezése

A bizonytalanság esetenként mérsékelhető pl. nagyszámú mérés statisztikus kiértékelésével (a), korrekt leolvasással, kiértékeléssel (b), és megfelelően választott terhelési szinttel (e). A felület alakváltozására (b) a lágyabb anyagok vizsgálata során, roncsolódására (c) pedig a vékony és rideg rétegeknél kell számítani.

Inhomogén mélységi keménységeloszlás esetén a felületi keménység meghatározásának lehetséges módszereit (d) egy korábbi tanulmányban karbonitridált rétegek eseteire vizsgáltuk [1, 2]. A számítás alapja az indentáció során kialakuló képlékeny zóna matematikai modellje (Expanding Cavity Model) [3-5,12]. A modell (illetve ennek különböző szerzők által továbbfejlesztett változatai, kiemelten Ichimura térfogati keverési szabályon alapuló megközelítése [6-15]) reális összefüggést ad a felületi és keresztmetszeti keménység között, ezt a karbonitridált felületi rétegre vonatkozó mérési eredményeink igazolták [1,2]. Az eljárás akkor alkalmazható, ha a felületi keménységmérés során kialakuló képlékeny zóna mérete és a kéregvastagság megfelelő összhangban van. A kifejlesztett hibrid matematikai modell – definiált feltételek mellett – kapcsolatot teremt a mélységi $H_d(x)$ és felületi $H_s(h)$

keménységeloszlás között, vagyis a felületi keménységmérési adatok bírtokában a hibrid modell segítségével a mélységi keménységeloszlás jó közelítéssel becsülhető.

A szerszámacélokon alkalmazott duplex bevonatok egyik nagy csoportja egy mérsékelt keménységű vastagabb támasztó rétegre felvitt vékony kopásálló külső réteggel jellemezhető. A gyakorlatban ez például egy 10-150 mikron vastagságú karbonitridált réteget és egy 1-8 mikron vastagságú PVD bevonatot jelenthet. A következőkben az ilyen típusú duplex rétegek felületi keménységméréssel történő jellemzési lehetőségeit tekintjük át.

2. A károsodási mérték becslése

A tapasztalatok szerint a keménységmérés során a PVD réteg az alakváltozóképeség, repedésérzékenység, tapadási tulajdonságok, támasztó réteg teljesítőképessége stb. függvényében károsodhat. A rideg viselkedésű rétegek indentáció során bekövetkező teherviselő képességének jellemzéséhez vezessük be a károsodási mérték fogalmát. Ez az arányszám azt fejezi ki, hogy adott terhelésnél a mért felületi keménységi érték hogyan aránylik a duplex bevonat elméletileg adódó keménységi értékéhez. Ha a károsodási arány 0%, az azt jelenti, hogy a bevonati rendszer károsodás nélkül tud működni az adott feltételek között. 100 %-os károsodásnál a PVD bevonat alatti támasztóréteg keménységi értéke működik, vagyis a PVD bevonat ténylegesen csak terhelésátadó szerepet játszik, magában a teherviselésben nem vesz részt. Tapasztalataink szerint egy adott anyagrendszer károsodási mértéke az indentáció mélységétől erőteljesen függ.

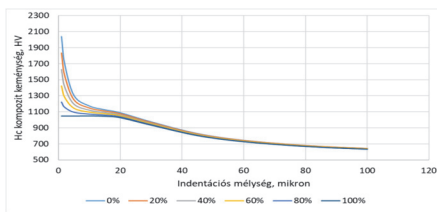
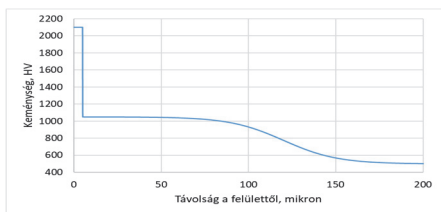
A PVD bevonat $\beta(h)$ károsodási mértéke a h indentációs mélység függvényében értelmezett az alábbi összefüggés szerint:

$$\beta(h)_{PVD} = \left[1 - \frac{H_c(h) - H_m(h)}{H_f - H_m(h)} \right] \cdot 100\%, \text{ ahol}$$

$H_c(h)$ – az h indentációs mélységhez tartozó kompozit keménység,

$H_m(h)$ – a h indentációs mélységhez tartozó alaplátra (szubsztrát) keménység,

H_f – a PVD bevonat (film) saját (intrinsic) keménysége.



a.) mélységi keménységeloszlás b.) felületi keménységeloszlás

2. ábra A duplex bevonat mélységi keménységfüggvénye és a felületi kompozit keménység várható értéke különböző károsodási szinteken

A hibrid modellben a károsodási mérték függvény értelmezéséhez tekintünk a következő példát. Legyen egy 500 HV keménységű szerszámacélon (A2) egy karbonitridált és egy PVD

rétegből álló duplex bevonat. A nitridált kéreg vastagsága 115 mikron (x_0), maximális keménység 1050 HV (A1), a nitridált réteg keménységfüggvényének nyújtási tényezője 12 (dx)³. Legyen a PVD bevonat 5 mikron vastagságú és 2100 HV keménységű. A mélységi keménységeloszlási függvény ebben az esetben a 2.a ábrán látható alakú. A hibrid modellel végzett számítás eredményeit mutatja a 2.b ábra, melyről leolvasható, hogy adott károsodási szint és indentációs mélység esetén mekkora a felületi (kompozit) keménység várható értéke.

3. Alkalmazás duplex felületkezelt szerszámacélon

A duplex felületkezelés – azonos módon előkészített szerszámacél alapanyagokon – sófürdős karbonitridálással és CrAlN PVD bevonatolással történt. A karbonitridált réteg három különböző vastagságban került a mintákra, a PVD bevonat felvitele minden esetben azonos volt. A vizsgálati minták hőkezelési technológiáját, valamint a bevonatok jellemzőit a következő táblázat foglalja össze.

	karbonitridált réteg			PVD réteg		Anyag
Jelzés	hőkezelés	vastagság	vegyületi	típus	vastagság	
	hőm/idő	mikron	réteg		mikron	
TS02	580/60	43	eltávolítva	CrAlN	4	1.2344
TS06	580/120	75	eltávolítva	CrAlN	4	1.2344
TS10	580/480	140	eltávolítva	CrAlN	4	1.2344

A CrAlN PVD bevonat méréssel ellenőrzött keménysége alapján az intrinszc keménység 2400 HV körüli érték. Feltételezzük, hogy a réteg teljes vastagságában ez a keménységi érték jellemző. A három mintában az alapmátrix átlagos keménysége 510-520 HV között adódott.

A minták felületi keménységének meghatározása Vickers eljárással történt három-három sorozatban 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 100, 120 kgf terheléssel. A 3-5. ábra az azonos terheléssel végrehajtott három mérés átlagából meghatározott keménységet mutatja a lenyomatok átlóinak átlagából számított indentációs mélység függvényében.

Ugyanezen ábrákon feltüntettük az alapmátrix, valamint a duplex réteg keménységi és geometriai adataiból a hibrid modell alkalmazásával meghatározott várható felületi keménység függvényeket is, mégpedig különböző feltételezett károsodási szintekre nézve. Az ábrákon látható görbesor felső eleme a PVD réteg 0 %-os károsodását (vagyis maximális teherviselőképességet), a legalsó pedig a PVD réteg 100 %-os károsodását (zérus teherviselőképességet) reprezentálja. A mért felületi keménységi értékeknek a görbesoron elfoglalt pozíciója jellemzi az adott terheléshez (indentációs mélységhez) tartozóan a károsodás szintjét, vagyis a mért és az elméletileg elérhető keménység arányát. A bal oldali diagramon a teljes mérési tartomány adathalmaz, a jobb oldalin pedig ennek a 0 és 20 mikron közé eső részlete látható.

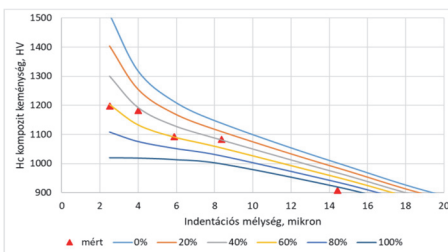
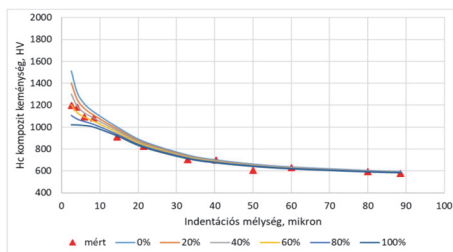
³ A karbonitridált rétegben kialakult keménységeloszlás leírására a

$$H(x)=A1+\frac{A1-A2}{1+e^{(x-x0)/dx}}$$

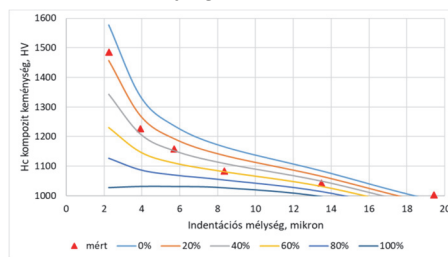
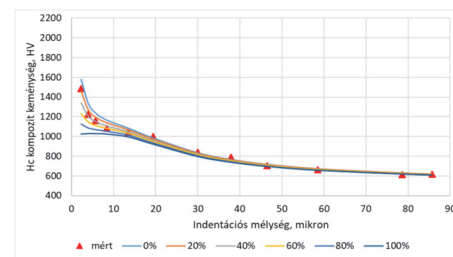
alakú, monoton csökkenő szigmoid függvényt alkalmazzuk, ahol x – a felülettől való távolság, $A1$ – a függvény felső, $A2$ – az alsó keménységi határértéke, $x0$ – a görbe inflexiós pontjának x koordinátája, dx – időállandó, mely a függvény x tengely menti nyújtottságát fejezi ki [1,2]

A felületen mérhető keménység – a legkisebb alkalmazott terhelésnél (0.2 kgf) – a karbonitridált rétegvastagsággal, vagyis a támasztóréteg növekedésével emelkedik. Ez a körülmény is arra utal, hogy a támasztórétegnek kiemelkedő szerepe van a felület „tejesítménye” szempontjából, vagyis a felületi anyagrendszer tulajdonságai, illetve azok összhangja határozza meg a felület teherviselő képességét. 58 mikronos nitridált kéregvastagság esetén 0.5 kgf terhelésnél a PVD bevonat károsodása mintegy 60 %-osra tehető. Ha a támasztóréteg 76 mikronos, akkor a felületi károsodás mértéke 0,2 kgf terhelésnél már csak 25 % körüli, 140 mikronos nitridált rétegvastagság esetén ugyanez az érték 5 % körüli csökken.

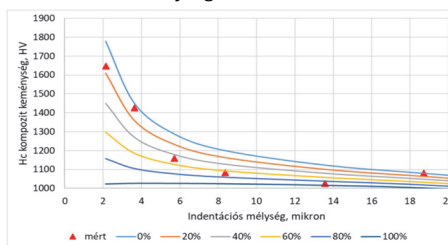
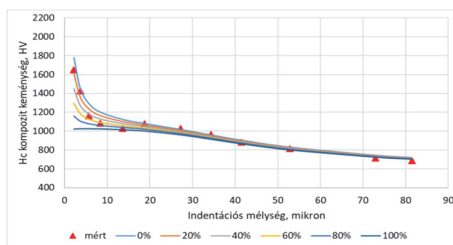
A diagramokon az is jól megfigyelhető, hogy a felületi károsodás mértéke a terhelőerőtől erősen függ. Egészen kicsi terheléseknél a néhány %-os károsodási mérték adódott, a növekvő terheléssel ez mindhárom karbonitridált rétegvastagságnál drasztikusan nő, a legvastagabb rétegnél (TS10 5kgf) gyakorlatilag 100 %-ig. Ahogy növekszik a terhelés, a minimum és maximum keménységi érték közötti különbség csökken, de a károsodási mérték nem feltétlenül éri el a 100 %-ot (pl. TS10 1030 kgf között, 20-40 mikron indentációs mélységeknél).



3. ábra A TS02 minta mért és számított felületi keménységi adatai



4. ábra A TS06 minta mért és számított felületi keménységi adatai



5. ábra A TS10 minta mért és számított felületi keménységi adatai

4. Értékelés

A gépészeti alkatrészek felületkezelése, bevonatolása jellemzően egy kemény, kopásálló felületi réteg kialakítása céljából történik. A létrehozott felületi bevonat gyakran egy támasztó és egy bevonati réteget tartalmaz, ezek a duplex bevonatok. A bevonati rendszerek működésének sikere a rétegek egymás egyedi tulajdonságain és ezen tulajdonságok összehangoltságán múlik. A bemutatott munkánk alapján az alábbi következtetések vonhatóak le:

- A felületi keménység mért értéke kompozit keménységgént értelmezhető.
- A kompozit keménység a rétegek mélységi (a keresztmetszetben mérhető) tulajdonságaitól függ. A felületi és mélységi keménység átszámíthatóságának alapja az indenter alatt kialakuló képlékeny zóna méretének ismerete, mely az Expanding Cavity Model-en alapuló hibrid elemeket tartalmazó számítási eljárással elfogadható pontossággal becsülhető.
- A duplex bevonatok esetében a felületi anyagréteg károsodása nagymértékben befolyásolja a kompozit keménység értékét. Ennek figyelembe vételére az analitikus és numerikus elemeket is tartalmazó, a károsodási függvénnyel kiegészített hibrid matematikai modell sikerrel alkalmazható. Szerszámacél minták duplex bevonatainak elemzésével bemutattuk a hibrid modell számítási lehetőségeit. Alkalmazásával a duplex bevonat komplex viselkedése, ezen belül a felületi réteg teherviselő képessége, együttműködése a támasztó réteggel jellemezhető.
- Az eljárás új lehetőséget nyithat a bevonatok összehasonlító elemzésére és a felületi rétegek várható viselkedésének roncsolásmentes eljárással történő megítélésére.

Hivatkozások

1. Réger, M., et al., *The Relationship between Surface and In-Depth Hardness for the Nitrocarburizing Treatment Process. Metals*, 2021. **11**(5): p. 812.
2. Réger Mihály, H.R., Széll Attila, Réti Tamás, Gonda Viktor, Felde Imre, *Új módszer felületi rétegek keménységeloszlásának becslésére. Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat*, 2021. **154**(1): p. 7.
3. Tabor, D., *The hardness of solids. Review of physics in technology*, 1970. **1**(3): p. 145.
4. Marsh, D., *Plastic flow in glass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 1964. **279**(1378): p. 420-435.
5. Ford, I., *A cavity model of the indentation hardness of a coated substrate. Thin Solid Films*, 1994. **245**(1-2): p. 122-131.
6. Chiang, S., D. Marshall, and A. Evans, *The response of solids to elastic/plastic indentation. I. Stresses and residual stresses. Journal of Applied Physics*, 1982. **53**(1): p. 298-311.
7. Burnett, P.J. and D. Rickerby, *The mechanical properties of wear-resistant coatings: I: Modelling of hardness behaviour. Thin Solid Films*, 1987. **148**(1): p. 41-50.
8. Jönsson, B. and S. Hogmark, *Hardness measurements of thin films. Thin solid films*, 1984. **114**(3): p. 257-269.
9. Korsunsky, A., et al., *On the hardness of coated systems. Surface and Coatings Technology*, 1998. **99**(1-2): p. 171-183.
10. Chollacoop, N. and U. Ramamurty, *Simulation of deformation fields underneath Vickers indenter: Effects of power-law plasticity. Sonklanakarin Journal of Science and Technology*, 2010. **32**(2): p. 197.
11. Srikant, G., N. Chollacoop, and U. Ramamurty, *Plastic strain distribution underneath a Vickers Indenter: Role of yield strength and work hardening exponent. Acta materialia*, 2006. **54**(19): p. 5171-5178.

12. Mata, M., O. Casals, and J. Alcala, *The plastic zone size in indentation experiments: The analogy with the expansion of a spherical cavity*. International Journal of Solids and Structures, 2006. **43**(20): p. 5994-6013.
13. Ichimura, H., F. Rodriguez, and A. Rodrigo, *The composite and film hardness of TiN coatings prepared by cathodic arc evaporation*. Surface and Coatings Technology, 2000. **127**(2-3): p. 138-143.
14. Ichimura, H., Y. Ishii, and A. Rodrigo, *Hardness analysis of duplex coating*. Surface and Coatings Technology, 2003. **169**: p. 735-738.
15. Lesage, J., et al., *A model to determine the surface hardness of thin films from standard microindentation tests*. Thin Solid Films, 2006. **497**(1-2): p. 232-238.

Roncsolásmentes betétedezett kéregvastagság mérés HTD-eljárással

Non-Destructive testing of CHD hardened samples with HTD technology

Szabó Tamás

GRIMAS Kereskedelmi Kft.

Absztrakt:

Az előadás során bemutatásra kerül a HTD eljárás, ami lehetővé teszi, hogy a kéregvastagságot keménységmérési alapelvet alkalmazva a munkadarab integritásának megszakítása nélkül mérjük meg.

Abstract:

The presentation will introduce the HTD method which allows to measure the heat treated layer using the hardness measurement principle without breaking the integrity of the workpiece.]

GRIMAS Group

- Austria
- Magyarország
- Románia
- Bulgária
- Szerbia

Vezetőség:

Tulajdonos: Harnisch József

Ügyvezető igazgató: Jeszenszky Szabolcs

Grimas Kft.- Mivel foglalkozunk?

- Ipari anyagvizsgáló gépek, vizsgáló anyagok, szoftverek forgalmazása
- Tanácsadás – Szerviz – Kalibrálás - Oktatás

Szakterületek:

Roncsolásmentes anyagvizsgálat:

Mágneses és penetrációs vizsg.

Ultrahang

Radiográfia-CT

Örvényáram

Vizuális vizsgálat

Rétegvastagságmérés

Tömörségvizsgálat

Roncsolásos anyagvizsgálat:

Metallográfia

Mikroszkóptechnika

Digitális mikroszkóptechnika

Keménységmérés

Szakítóvizsgálat

Ütővizsgálat

Speciális anyagvizsgálat:

Termográfia

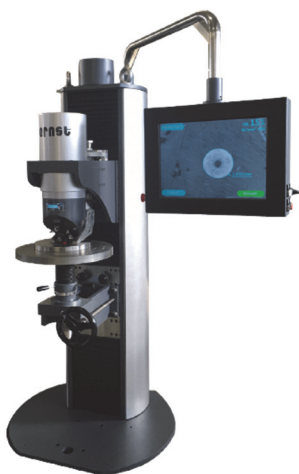
Spektrometria (OES, GDOS, XRF, LIBS)

Felületi és réteg elemzések

Teszt- és mérőműszerek

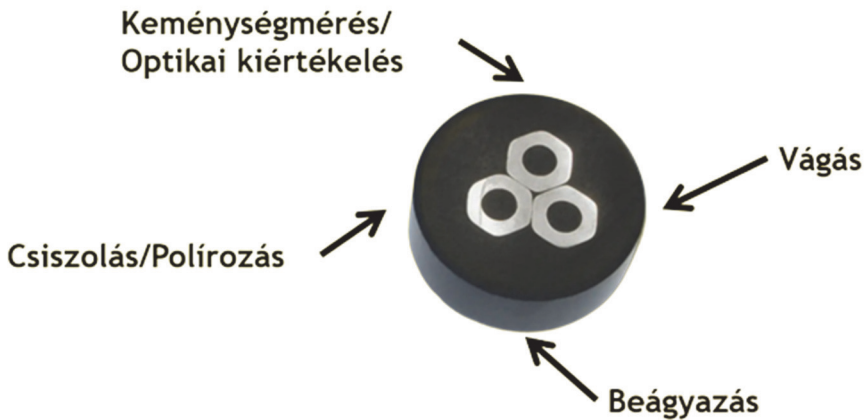
Ernst-Cisam

- 68 év tapasztalat, a keménységmérés területén.
- Széles választék, folyamatosan bővülő paletta és nagyfokú személyre szabhatósággal.
- Piacvezető megoldások a keménységmérési piacon:
 - Esatest technológia
 - Roncsolásmentes kéregvastagságvizsgálat
 - Robotizált In-line keménységmérő állomások





Hagyományos eljárás- Mire van szükség?



Hagyományos eljárás hátrányok

- Magas kezdeti beruházási és fenntartási költségek (fogyóanyagok)
- Lassú vizsgálati ciklusidő
- Nagy helyszükséglet, laborkörülmények biztosítása elengedhetetlen
- Szakmailag hozzáértő munkaerő elengedhetetlen
- A vizsgálat a munkadarab visszafordíthatatlan roncsolásával jár!
- Nagy mennyiségű hulladékanyag



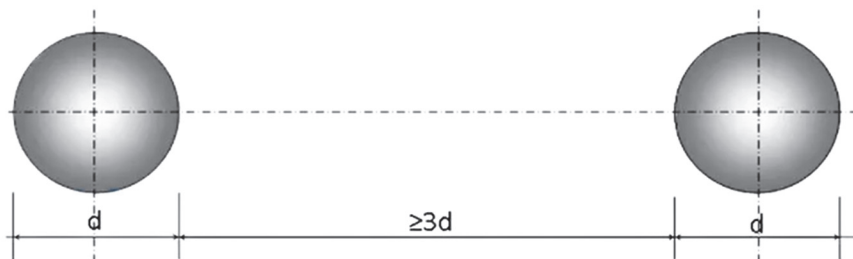
A HTD módszer, Egy alternatív megoldás

- Különleges eljárás melyet az Ernst-Cisam védjegyezett
- A technológia fő alapelvét Bückle dolgozta ki 1960-ban
- Az eljárás számos esetben kiválhatja a hagyományos technológiát.
- Megfelel a vonatkozó szabványoknak
(DIN 50158, ASTM E-18, ISO 6508)

Működési elv- Lenyomatkészítés fizikája

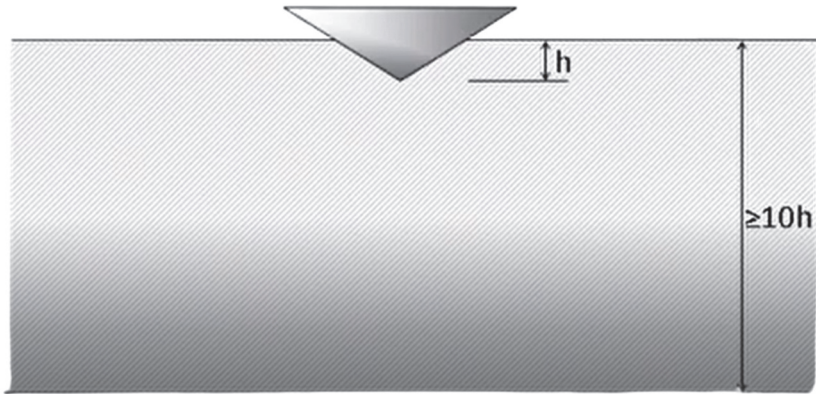
Első alapelv: 2 lenyomat közötti távolság szabálya

- Ha „D” a lenyomat átmérője akkor legalább „3D” távolságot kell tartani minden lenyomat között



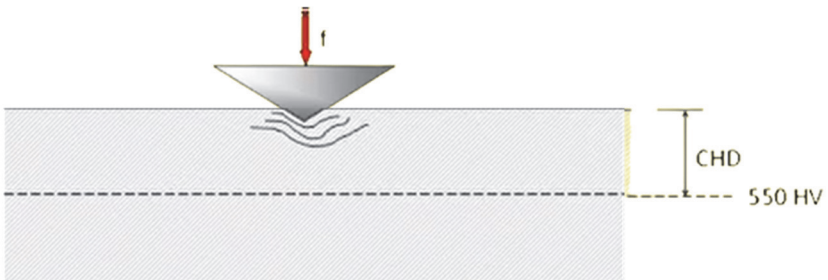
Második alapelv: Minimális mérhető anyagvastagság szabálya

Ha „H” a lenyomat mélysége, akkor a mintának legalább „10H” vastagságúnak kell lennie

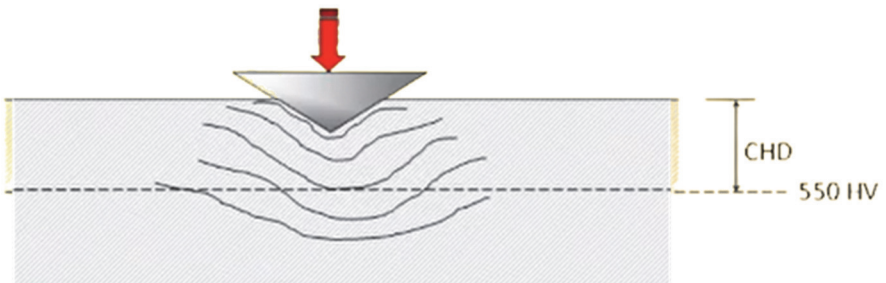


Működési elv- Eloszlási hatásövezet

Felvetés: Megfelelő terhelés mellett a hatásövezet a betétedzett kéregvastagságon túlhalad, így a mérési eredményt befolyásolja.



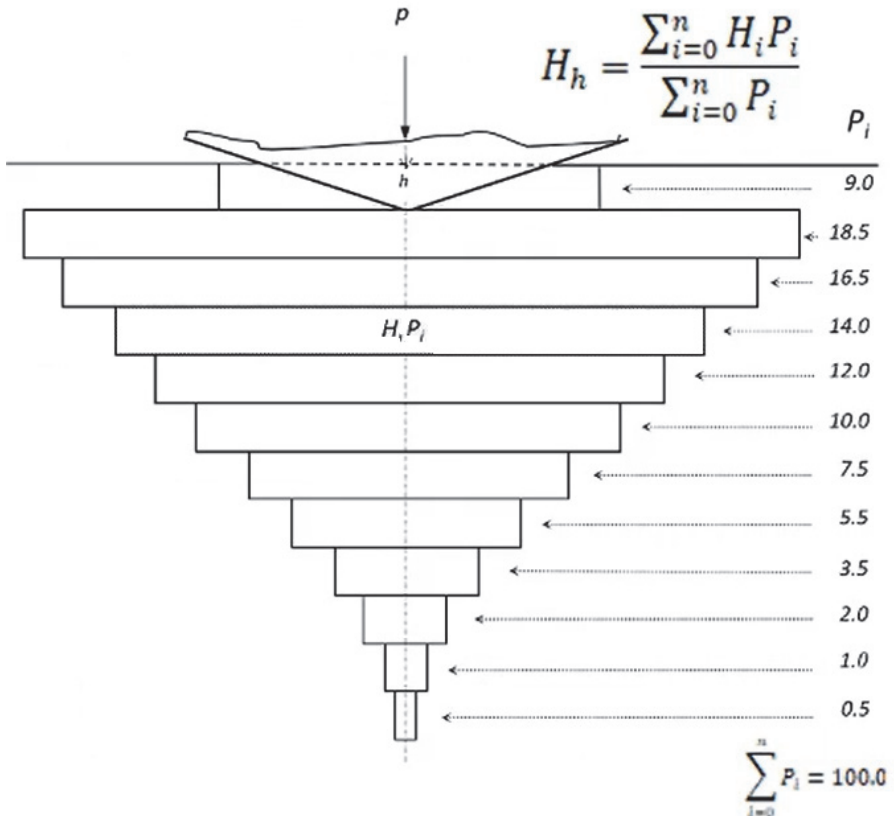
Edzett rétegen belül maradó hatásövezet



Edzett rétegen túlhaladó hatásövezet

Működési elv- Bückle elmélete

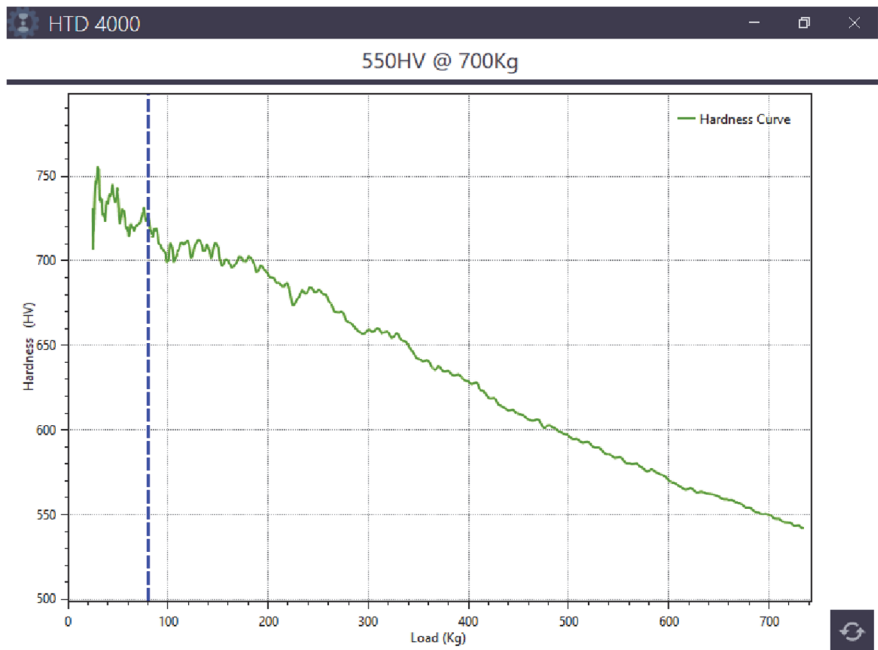
Bückle 1960-ban vizsgálta, hogy a zóna egyes rétegei mely módon befolyásolják a felületen mért keménységi értéket



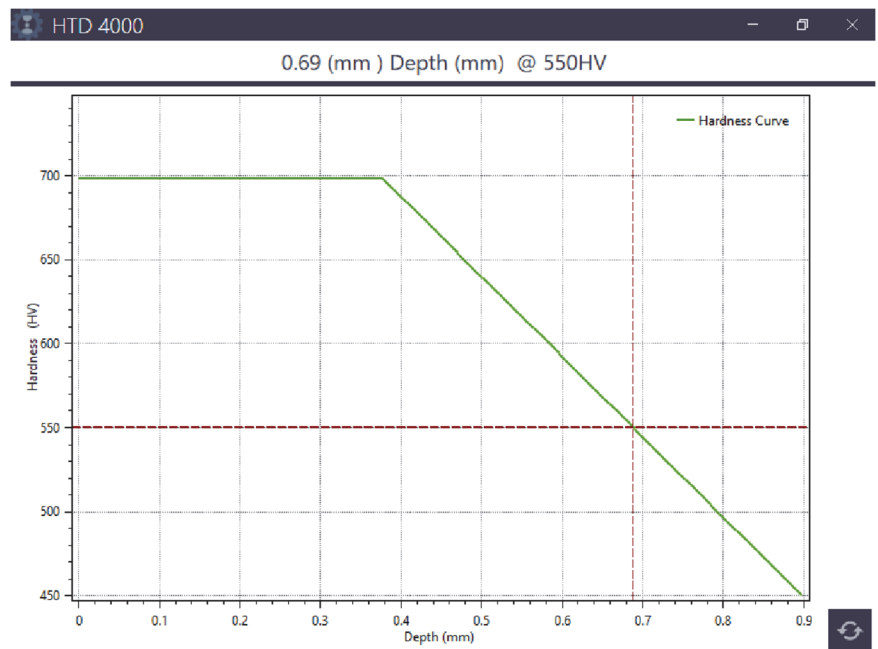
Működési elv- HTD algoritmus

1 mérési alkalommal több terhelés mellett vizsgáljuk a mért keménységi értéket, tehát valójában egyetlen mérés alatt mérések sorozatát készítjük el.

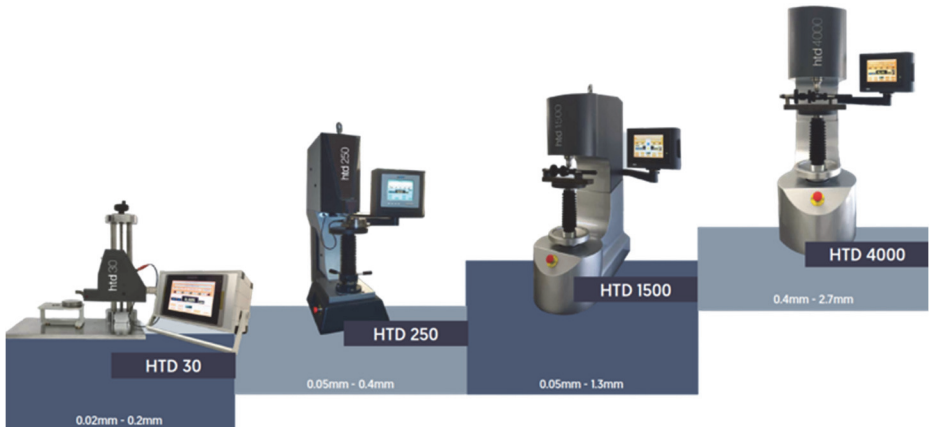
A méréseket „Terhelés-Keménység” diagrammon kirajzoljuk



Ernst HTD algoritmusok segítségével és a Bückle által kidolgozott szabályszerűségek által a kéreg vastagsága számítható!



Konfigurációk



Ernst-Cisam HTD széria

A készülék elérhető In-line robotizált konfigurációkban is!

HTD Előnyök

- Lehetővé válik a valós idejű nyomkövetése a gyártásnak
- Az In-line konfigurációk lehetővé teszik a munkadarabok 100%-os vizsgálatát
- A robotizált konfigurációk akár emberi operatív munkát nélkülöző üzemet biztosítanak
- Nem feltétlenül igényel labor körülményeket
- Hulladékká csak a valódi hibás munkadarab válik
- Esettanulmány: 216 vizsgálatot egy autóiipari piaci szereplőnek 20 nap alatt sikerült hagyományos eljárással elvégeznie, HTD eljárással a vizsgálati idő 3 óra 45 percre csökkent!

Köszönöm a figyelmet!

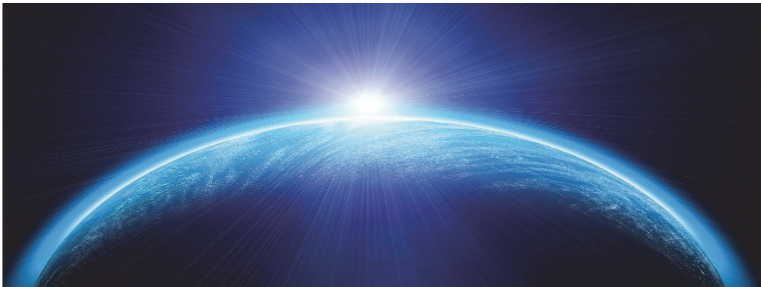
Hőkezelt formaszerszámok új ipari bevonatai

Dr. Cselle Tibor

PLATIT AG - Idea-Lab, Svájc

Hőkezelt szerszámok «új» ipari bevonatai
Formázó és képlékeny alakító szerszámok alkalmazásához

PLATIT®



PLATIT®
Advanced Tooling Solutions
SINCE 1972 PLATIT®

Pannon
PLATIT®

GFE

Idea-Lab

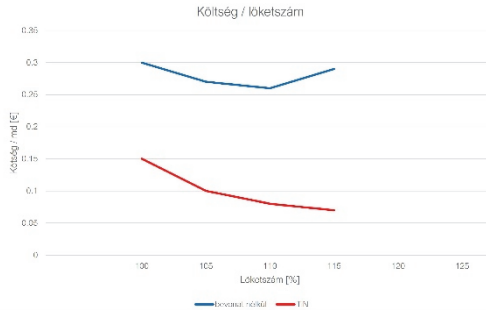
T. Cselle, PLATIT AG Selzach, CH PannonPlatit, HU GFE, Schmalzkaizen, DE Idea Lab

PLATIT PVD-bevonatoló gép (> 600) a világ 40 országában

PLATIT®



- Költségcsökkentés



«Új» bevonatok fejlesztésének útjai

- **Dedicated** (illesztett) bevonatok
- Dedicated bevonat vastagság

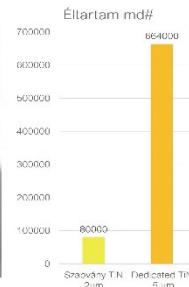
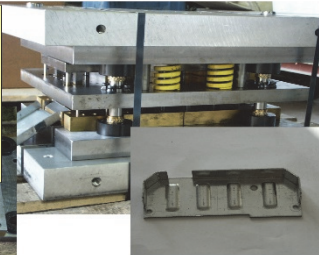
Cink-acélemez hajlítása és kivágása

Élratét (md. anyagfelrakódás) miatt

- bevonat nélkül
- szabvány bevonatvastagság
- nagyon alacsony és változó éltartam

Dedicated bevonatvastagság

- Éltartam 8.4x



Forrás: Winkhaus, Meiningen, DE

«Új» bevonatok fejlesztésének útjai

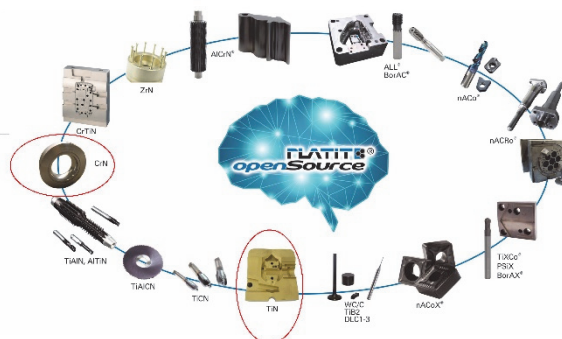
- **Dedicated** (illesztett) bevonatok
- Dedicated bevonat vastagság
- Dedicated élkezelés
- Dedicated felületkezelés pl. polírozás
- **Új struktúrák**
 - Multi és Nanolayer
 - Nanocomposite
- **Új anyagkomponensek** (Bázis: Ti, (Cr, Al))
 - C
 - Si
 - B
 - W, V, Zr, Y, Ni,...
 - High Entropy bevonatok (>= 5 komponensek)

FATIT®

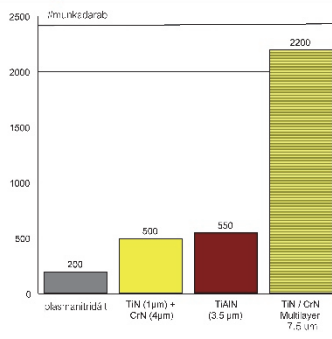
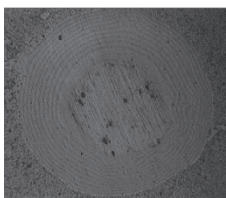
π4+PLUS



PLATON®



PATIT®



Anyag.: Al 8012 - Elő fűtés: 400-480 °C Hőmérséklet: 530 °C
Extrudálás 570 °C - Profil-sebesség: 9 m/min
Layers: TiN=1.5/CrN=0.4 - 10x; TiN=0.25/CrN=0.35 µm
Összvastagság: 7.5µm - Forrás: Metalba, I



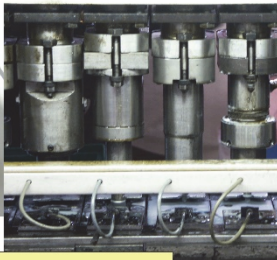
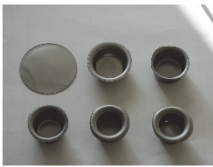
Forrás: Matthews, A., Hull, UK

Szén

Anyagkomponens	Bevonat	Keménység	Szívósság	Sűrűség	Strukturális stabilitás	Oxidációs ellenállás	Kopásállóság 23 °C-on	Kopásállóság 600 °C-on
- Króm (Cr)	CrTiN	Ø	+	-	-	Ø	+/-	+
+ Szén (C)	TiCN	++	-	++	-	-	+/-	-
- Alumínium (Al)	AlTiN / AlCrN	+	-	-	-	-	Ø	++
+ Szilícium (Si)	TiSiCo ₂ NACrO		-	Ø		-		
+ Bór (B)	TiB ₂ /BorAC	++	++	p	-	-	+	++

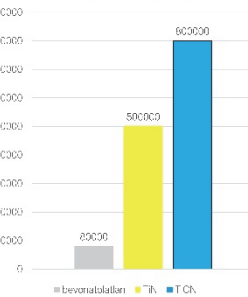
Éltartam és termelékenység növelése (+C)-vel

Mélyhúzás TiN és TiCN bevonatokkal



Anyag: 1.4301
Plusz eredmény: Lökétszám +15 %

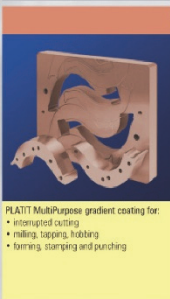
Éltartam #munkadarab



Forrás: MKB, Barchfeld, DE

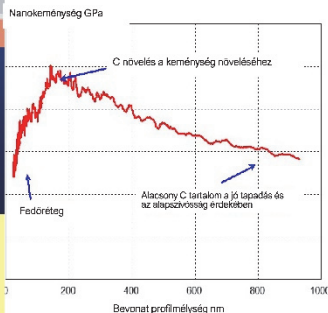
Dedicated TiCN-bevonat a C-tartalom szabályozásával

TiCN-MP

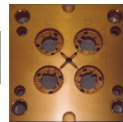


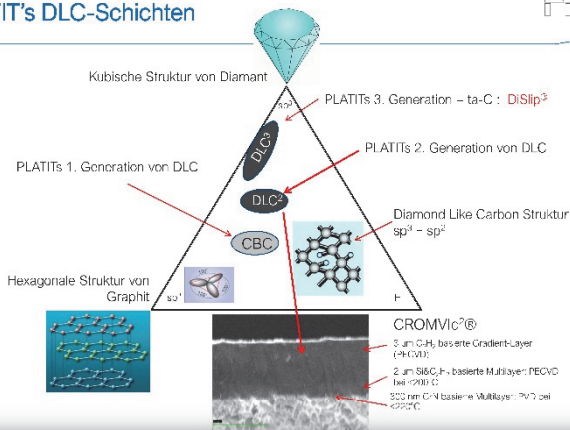
PLATIT MultiPurpose gradient coating for:

- interrupted cutting
- milling, tapping, hobbing
- forming, stamping and punching



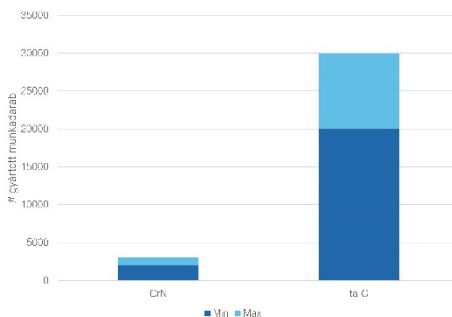
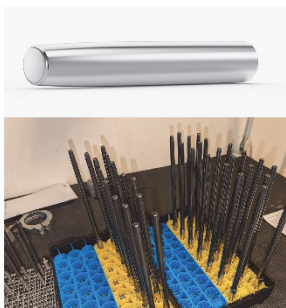
Fröccsöntés magas üvegszál tartalommal





Mélyhúzás réz ötvözetben

Werkzeug: HSS
Werkstück: CuZn10



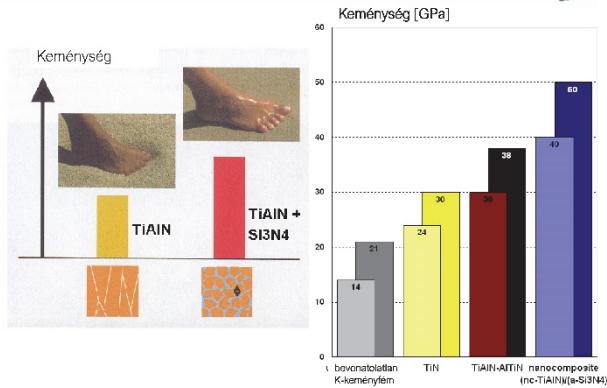
Pannon
PLATIT

2

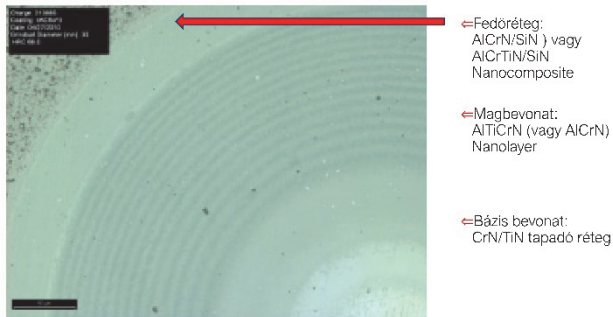
Fontos anyagkomponensek hatása a TiN-hez hasonlítva

Aluminium

Anyag-komponens	Bevonat	Keménység	Szívvösség	Sűrűdés	Strukturális stabilitás	Oxidációs ellenállás	Kopásállóság 23 °C-on	Kopásállóság 600 °C-on
- Króm (Cr)	CrTiN	ø	+	-	-	ø	+-	+
+ Szén (C)	TiCN	++	-	++	-	--	+-	--
- Aluminium (Al)	AlTiN / AlCrN	+	-	-	-	-	ø	++
+ Szilícium (Si)	TiXCo/nACRo	++	-	ø	++	-	+	++
+ Bór (B)	TiB2/BorAC	++	+-	ø	-	-	+	++

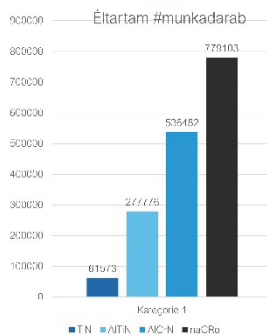
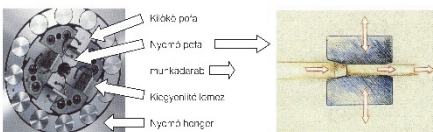


Triple bevonat struktúra – nACRo® (nATCrO®) Si-mal



Éltartam-összehasonlítás forgó kovácsolásnál

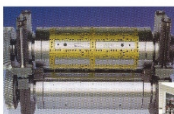
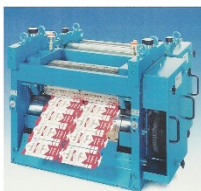
Forgó kovácsolás



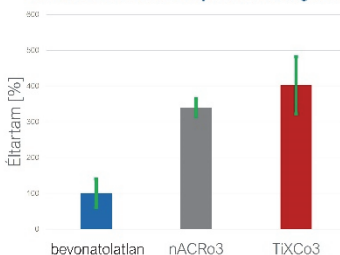
Forrás: Thyssen Krupp Presta Isernhagen, DE

A Si tartalom és a bevonatkeménység TiAlN/SiN nanocomposite bevonatokban

PLATIF8



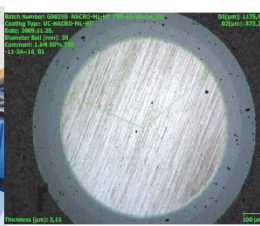
Éltartamok és szórásuk hajításnál és kivágásnál



Forrás: Mader, Vlaardingen, NL

nACrO hőstabilitása a szilícium tartalom függvényében Keménységnövekedés magasabb hőmérséklet esetén

PLATIF8



[°C]

Min. éltartamnövekedés min 1.5x Beömlő hőfok: ~1070 °C

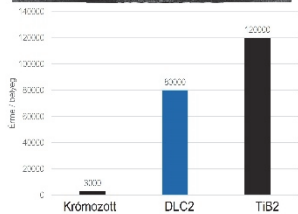
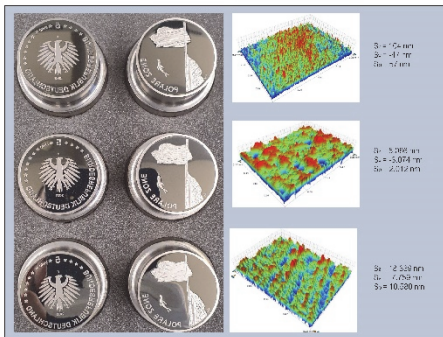
Forrás: Globe-Hungary

Fontos anyagkomponensek hatása a TiN-hez hasonlítva

PLATIF8

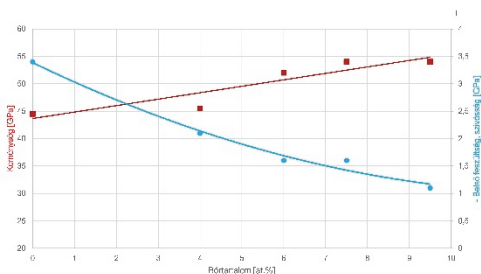
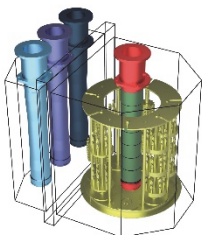
Bór

Anyag-komponens	Bevonat	Keménység	Szivósság	Sűrűség	Strukturális stabilitás	Oxidációs ellenállás	Kopásállóság 23 °C - on	Kopásállóság 600 °C-on
- Króm (Cr)	CrTiN	ø	+	-	-	ø	+ -	+
+ Szén (C)	TiCN	++	-	++	-	--	+ -	--
- Alumínium (Al)	AlTiN / AlCrN	+	-	-	-	-	ø	++
+ Szilícium (Si)	TiXCo/nACrO		-	ø				
+ Bór (B)	TiB2/BorAC	++	++	ø	-	-	+	++



Magas entrópiájú hibrid bevonatok Ti, Al, Cr és B alapon

A bőr egyszerűen növeli a keménységet és a szívósságot



Bevonat: BorAC[®] AlCrTiN/BN – 2 μm

High Entropy Alloys → Bevonatok

Az entrópia az ötvözetben lévő elemek rendezetlenségének mértéke. (az irreverzibilitás mértéke). A nagy entrópiás ötvözetek (HEA) olyan ötvözetek, amelyeket (általában) öt vagy több elem viszonylag egyenlő arányú „keverésével” állítanak elő.

A „nagy entrópiás ötvözetek” kifejezést azért alkották meg, mert

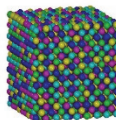
- a keveredés entrópiájának növekedése sokkal nagyobb, ha
- nagyobb számú elem van az ötvözetben és ha
- arányuk közel azonos.

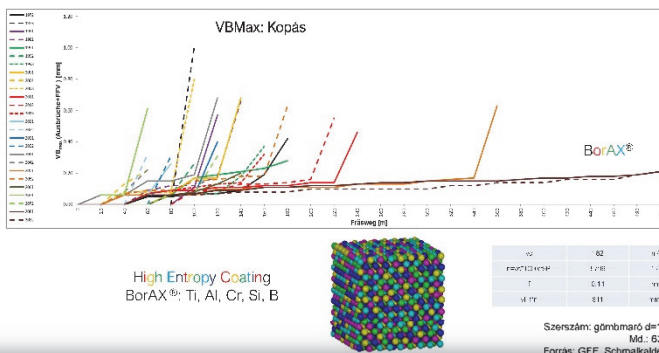
Potenciálisan ígéretes tulajdonságaik miatt ezek az ötvözetek jelenleg a figyelem középpontjában állnak az anyagtudományban és a mérnöki munkában egyaránt.

A kutatások azt is kimutatták, hogy egyes HEA-knél

- jobb a szilárdság/tömeg arány,
- nagyobb fokú szilárdsággal és törési szilárdsággal rendelkeznek és
- korrózió- és oxidációállóságuk magasabb mint a hagyományos ötvözeteké

→ High Entropy Coating

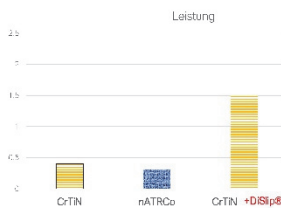




Menetformázás High Entropy bevonattal



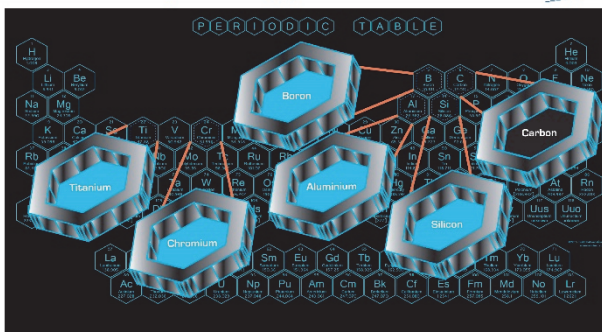
Kiértlen: OFF, Schmalkalden
Md.: 42C/Mo4, Rm=1000 N/mm²
vc=5 m/min, külső hőforrás
M6 - ap=15 mm, Sackgewinde



Teljesítmény: 1 / Drehmomentbedarf + rel. Streuung
* 1 / relative Streuung Drehmoment
* 1 / Axiale Vorschubkraft Bedarf
* Standzeit

Forrás: Platin, Seitzach, CH, GFE, Schmalkalden, D, Idea-Lab, CH
Pinnoc-Patt, IL, Un. Coude, HU

A fejlesztés Ti - Cr - B - Al - Si nagy entrópiájú rétegekkel folyik + DiSiP® felső réteggel



Köszönöm figyelmüket!

Komplex geometriák plazma etching optimalizációja a PLATIT 3D etching-indikátorának segítségével

ifj. György Rábel, R. Zemlicka, Y. Li, P. Tapp, H. Bolvardi,
A. Lümkmann

Az előadás témája a PVD és PECVD bevonatolási eljárásokat megelőző plazma tisztítási, ún. etching fázis hatékonyságának optimalizálására szolgáló 3D etching-indikátor alkalmazása.

A PVD (physical vapor deposition) és PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition) bevonatok tapadása a szubsztrát és a bevonat anyagának atomjai között kialakuló kémiai kötéseknek alapszik. Emiatt a szubsztrát felületének tökéletesen tisztának, a legcsekélyebb mértékű szennyeződéstől is mentesnek kell lennie, ugyanakkor a szubsztrátokon a légköri expozíció hatására, azonnali, ultravékony oxidréteg alakul ki, valamint kémiai, fizikai abszorpciók zajlanak le. [Cabrera] Atomi szintű felülettisztaság kizárólag nagyvákuumban, semleges gázok ionjainak bombázásával érhető el. A gyakran plazma etchingként hivatkozott eljárás során a szubsztráton hoznak létre parázsfénykisülést (Glow Discharge) a vákuumkemencében, közvetlenül a PVD/PECVD bevonat depozíciós fázisa előtt. A folyamat nagy hátránya azonban, hogy az ionbombázás etching-rátája nem egyenletes, különösen komplex geometriájú felületeken.

A 3D etching-indikátor kifejlesztését tehát az az igény támasztotta, hogy a különböző plazma etching módszerek viselkedését megismerve optimalizálni lehessen a bevonat készítéséhez létfontosságú folyamatot.

Jelenleg ez az egyedüli, PLATIT által szabadalmaztatott módszer a plazma etching hatékonyságának háromdimenziós felbontású profilozására tetszőleges geometriájú szubsztrátokon.

Az előadás bemutatja:

- a plazma etching eljárásokat,
- a 3D etching-indikátor elvét,
- gyakorlati példákat a 3D etching-indikátor használatáról.

Gyors vizsgálati eljárás bevonatos menetszerszámok hatékonyságának meghatározására

dr. Sipos Sándor c. egy. doc.¹, Dr. Cselle Tibor PhD²,
Rábel György jr.³, Rábel György sr.⁴

¹ ÓE-BGK

² Senior CEO, Platit AG.

³ Rábel György jr., ügyvezető igazgató, PannonPlatit Kft.

⁴ cégvezető, PannonPlatit Kft.

XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás
2022. október 5-6-7., Balatonfüred



GYORS VIZSGÁLATI ELJÁRÁS MENETVÁGÓ SZERSZÁMOK BEVONATI HATÉKONYSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA

dr. Sipos Sándor, c. egy. doc., ÓE-BGK
Dr. Cselle Tibor PhD., Senior CEO, Platit AG.
Rábel György jr., ügyvezető igazgató, PannonPlatit
Rábel György sr., cégvezető, PannonPlatit

Balatonfüred, 2022. október 5.

A hatékonyság mérése és gyorsított vizsgálati módszere

A szerszámhatékonyság

- **elérése**
 - konstrukció (elsősorban)
 - szerszámanyag (kisebb mértékben)
 - bevonatok (elsősorban)
 - feladatorientált (dedikált)
 - alkalmazásorientált (kombinációk)
- **jellemzése**
 - kedvező hatások („a nagyobb a jobb”)
 - anyagleválasztási ráta (cm^3/min)
 - gátló tényezők („a kisebb a jobb”)
 - erőhatás, nyomaték, teljesítmény
 - pontatlanság/érdesség
 - forgácsolépződés/forgácstablót
 - zavarjelenségek
- **mérése**
 - korszerű műszerekkel
 - többször ismételve (lapláknál) VAGY
 - több szerszámmal (forgó szerszámnál)

- a gyorsítás igénye
 - elsősorban anyag-, energia- és költségkímélés
 - a változatok közötti különbség korai kiszűrése
 - több anyag- és szerszámmérnöki kapacitás

Például fúráskor:

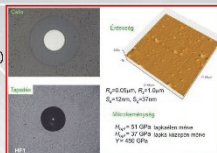
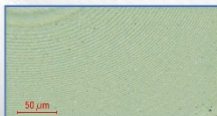
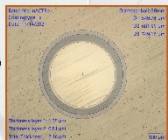
$$HKM = V \cdot \frac{\alpha_1}{M_c} \cdot \frac{\alpha_2}{F_f} \cdot \frac{\alpha_3}{g} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{min} \cdot \text{Nm} \cdot \text{N}} \right]$$

HKM - hatékonyság komplex mutatószáma,
 V - anyagleválasztási sebesség [mm^3/min],
 M_c - nyomatékgény [Nm],
 F_f - előtolási erő [N],
 g - forgácsolási index,
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - arányossági tényezők.

Menetfúrók és -formázók bevonati hatékonysága

A vizsgálati körülmények

- Bevonatok (π41PLUS bevonatoló)
 - Cr-Ti alapú**, nanolayer szerkezetű (jelzése: **CrTIN**)
(HUpI=30 GPa; $\mu=0,4$; T_{max}=600°C)
 - Ti-Al-Cr-Si** alapú nanokompozit (**nc**)
(HUpI=40 GPa; $\mu=0,45$; T_{max}=1000°C)
 - DiSlip**: tetrahedrális kötésű hidrogénmentes amorf karbon (**DiSlip**)
(HUpI=37-50 GPa; $\mu=0,15$; T_{max}=400°C)
 - a-C**: tetrahedrális kötésű hidrogénmentes amorf karbon (**a-C**)
(HUpI=30-45 GPa; $\mu=0,15$; T_{max}=400°C)

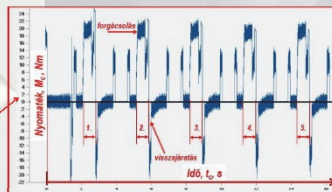


• Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022 •

Menetfúrók és -formázók bevonati hatékonysága

A vizsgálati körülmények

- Szerszámok: M6×1 méretű (EMUGE)
 - Menetfúró: Enorm 1-V5 B050C400.0060; z3/45°
 - Menetformázó: InnoForm 1-Z-SN B52IE900.1160G; z4/0°
- Gép, műszerek
 - Helyszín: GFE (Schmalkalden, DE)
 - Gép: DMG 125 VMC
 - Kistler forgó erőmérő: F_p , M_c
- Tesztkörülmények
 - Anyag: 42CrMo4+QT (1.7225); Ø130×13
 - Menetfúró: $v_c=15$ m/min magfurat: Ø5,0 mm; átmenő
 - Menetformázó: $v_c=20$ m/min magfurat: Ø5,5 mm; átmenő
 - Hűtés: külső, 7% emulzió; 30 l/min

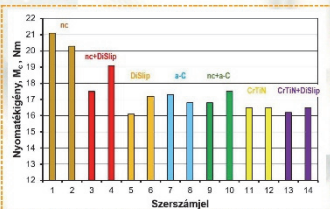


• Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022 •

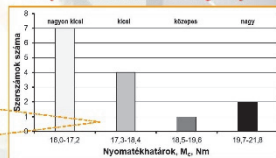
Menetfúrók bevonati hatékonysága

Az eredmények értékelése

A nyomatkadatok (5-5 furat átlagai alapján, 7 bevonat)

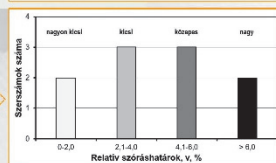


A nyomatkathatárok hisztogramja



A nyomatékok relatív szórása (az átlagos nyomatok és szórásaik alapján)

$$v_{M_c} = 100 \cdot \frac{s_{M_c}}{\bar{M}_c} [\%]$$



• Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022 •

Menetfűrók bevonati hatékonysága

Eredmények a forgácsolási nyomatékok alapján

Sorszám	Bevonat	M _c pont	v _{MC} pont	Összes	Átlag	Rangsor
1	nc	8	4	12	11,5	7
2	nc	8	3	11		
3	nc+DiSlip	4	4	8		6
4	nc+DiSlip	6	2	8	8	
5	DiSlip	2	2	4	5,5	4
6	DiSlip	4	3	7		
7	a-C	4	4	8	6	5
8	a-C	2	2	4		
9	nc+a-C	2	1	3	4,5	2/3
10	nc+a-C	4	2	6		
11	CrTiN	2	3	5	4,5	2/3
12	CrTiN	2	2	4		
13	CrTiN+DiSlip	2	2	4		
14	CrTiN+DiSlip	2	2	4	4	1

Súlyozás: 2x 1x

Értékelés

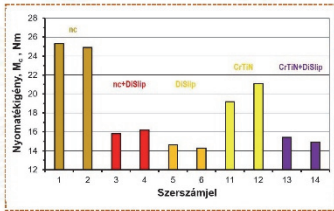
1. Az **nc+DiSlip** négyszer annyi éltartamot ért el, mint a nem fedőréteges **nc**-változat, ám mégis elmaradt a fokozott elvárásoktól
2. A **DLC** bevonatok és az **a-C fedőbevonatú** nc-k kedvező hatékonyságot mutatnak
3. A **CrTiN** és annak **DiSlip** bevonatos változata rendkívül hatékony
4. A **szerszámpárok** alkalmazása megfelelőnek bizonyult

■ Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022

Menetformázók bevonati hatékonysága

Az eredmények értékelése

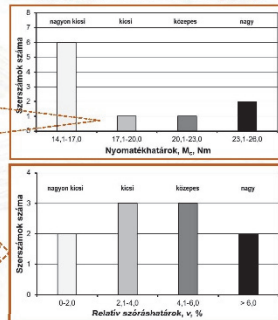
A nyomatékhatalok (5-5 furat átlagai alapján, 5 bevonat)



A nyomatékok relatív szórása (az átlagos nyomatékok és szórásaik alapján)

$$v_{MC} = 100 \cdot \frac{s_{MC}}{M_c} \quad [\%]$$

A nyomatékhatalok hisztogramja



■ Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022

Menetformázók bevonati hatékonysága

Eredmények a forgácsolási nyomatékok alapján

Sorszám	Bevonat	M _c pont	v _{MC} pont	Összes	Átlag	Rangsor
1	nc	8	1	9	9	4
2	nc	8	1	9		
3	nc+DiSlip	2	2	4	4,5	1
4	nc+DiSlip	2	3	5		
5	DiSlip	2	2	4	4,5	1
6	DiSlip	2	3	5		
11	CrTiN	4	4	8	9	4
12	CrTiN	6	4	10		
13	CrTiN+DiSlip	2	3	5	4,5	1
14	CrTiN+DiSlip	2	2	4		

Súlyozás: 2x 1x

Értékelés

1. Az **nc** és **CrTiN** alaprétegű bevonatok hatékonysága kedvezőtlen
2. A **DiSlip** alapbevonat és az összes **DiSlip fedőréteges** változat kiváló hatásfokú
3. A vizsgálatok megbízható eredményt adtak: jóval kisebb a különbség a szerszámpárok között

Újabb **értékelési kritériumot** kell bevezetni a kiváló hatásfokot elért **bevonatok közötti különbségek** kifejezésére! Ez pedig a bemeneti **előtolási erő**!

■ Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022

Menetformázók bevonati hatékonysága

Eredmények az előtölési erők alapján

Sorszám	Bevonat	F_{fin}, N	$F_{fin,dl}, N$	s_{rfin}, N	$v_{rfin}, \%$	Rangsor
3	nc+DiSlip	1174	1232	82	6,7	3
4	nc+DiSlip	1290				
5	DiSlip	1235	1248	18	1,5	2
6	DiSlip	1261				
13	CrTiN+DiSlip	1187	1189	2	0,2	1
14	CrTiN+DiSlip	1190				

Értékelés

1. Az **nc** alapú, **DiSlip** fedőrétegu szerszámpáros nagyon eltérő eredményeket mutatott
2. A **DiSlip** bevonat kedvező hatékonyságú
3. A **CrTiN** alapbevonat **DiSlip** fedőréteggel rendkívül hatékony

Hivatkozások jegyzéke:

- [1] Cselle, T.: Tool life comparison at Thread Forming Werkzeug-Technik, Nr. 127/2012), p. 29-30.
- [2] Sipos, S., Tállai, P.: Thread Forming Tools with Optimised Coatings Acta Polytechnica Hungarica (Journal of Applied Sciences), Vol. 12/No1., 2015. p. 55-66, ISSN 1785-8860
- [3] Cselle, T., Rábel, G., u.a.: Flexibler Service mit Hochleistungsschichten Werkzeug-Technik, Nr. 182/2020.
- [4] Sturges, H.: The choice of a class-interval, J. Amer. Statist. Assoc., 1926, 21., p. 65-66.

• Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022 •

Menetfúrók és -formázók bevonati hatékonysága

A kísérlet tapasztalatainak összefoglalása

1. Mindkét menetgyártási eljárásnál fontos szerephez jutnak a bevonatok.
2. Az elérhető hatékonyság szintjét az egyes rétegek **minősége**, a felvitel **sorrendje** és lehetséges **kombinációik** határozzák meg.
3. A tesztelt bevonatok kiválasztásához az alábbi táblázatot javasoljuk!

Bevonat	Menetfúró	Menetformázó
nc	kerülendő, ha mégis, akkor polírozva	kerülendő
nc + DiSlip	közepes	javasolt
DiSlip	kedvező	javasolt
a-C	közepes	nem vizsgált
nc + a-C	kedvező	nem vizsgált
CrTiN	nagyon kedvező	kerülendő, ha mégis, akkor polírozva
CrTiN + DiSlip	nagyon ajánlott	nagyon ajánlott

4. A különböző keménységű, alacsony súrlódású **DLC fedőrétegek** mindkét szerszámtípushoz használhatók.
5. Menetfúráskor az **nc+ DiSlip** négyszeres élettartamú ért el a nem fedőréteges **nc**-változathoz képest.

• Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022 •

Menetfúrók és -formázók bevonati hatékonysága

Összefoglalás

1. rész

1. Elsődleges **célunk** olyan **objektív, jól definiálható és mérhető** paraméterek kiválasztása volt, amely
 - **rövid ideig** tartó tesztek elvégzése során
 - új elemzési **módszer** szerint a
 - különféle **bevonatok hatékonyságának** jellemzésére alkalmas.
2. Az általunk kidolgozott és következetesen alkalmazott értékelési rendszerről kiderült, hogy
 - a **bevonati nyomatók és erőhatások** mérése és feldolgozása után
 - megfelelő az alkalmazott bevonati rétegek (vagy ezek kombinációi) **teljesítményének** meghatározására és rangsorolására.
3. A menetkészítő szerszámok tesztelése és kiértékelése független vizsgálólaboratóriumban történt. A szerszámpárok alkalmazása a kísérletek megbízhatóságát növelte. A megmunkálási folyamat mérésekor megjelenő ingadozásait (bizonytalanságait) nem lehet kiküszöbölni, mert ezeket a munkadarab inhomogén anyaga, illetve a szerszámok és az előműkölt magfúratok kis geometriai eltérései okozzák.

• Sipos – Cselle – Rábel – Rábel, HAGOK2022 •

Összefoglalás

2. rész

4. A teszteléseknél világosan kiderült a bevonatok **védő** és/vagy **csúszást elősegítő** hatása. A menetkészítés fajtájától (forgácsolás vagy képlékeny alakítás) és a folyamat sajátosságaitól (pl. a forgácsképződés és annak zavaró hatása) függően **másként lépnek kölcsönhatásba** a bevonati rétegek a munkadarabbal. Az egyes bevonatok alkalmazhatóságának eldöntésekor egyszerű a feladat:

menetfűrás = védelem

menetformázás = súrlódáscsökkentés

5. A tesztelt bevonatok **hatékonyságát** elemezve kiderült,
- az **nc** bevonat tesztelt változatára vonatkozó elvárások kevéssé teljesültek, a polírozás előnyösnek mondható
 - mindkét eljárásnál **jól teljesít** - az ehhez az alkalmazáshoz dedikált (adaptált) - **CrTiN** bevonat
 - formázáskor minden bevonat megfelelő, feltéve, hogy **DiSlip** réteget (is) tartalmaz. A **hatékonyság** növekedése olyan nagy, hogy nyugodt lelkiismerettel kijelenthetjük: az acélmegmunkálás menetformázóit **ta-C** bevonattal kell ellátni.
6. mindkét szerszámtípus esetében a **leghatékonyabb** bevonat a **CrTiN + DiSlip**.

BALIMED PVD bevonatok az egészségügyben

Dr. Bíró Andrea

Oerlikon Balzers Coating Austria GmbH Magyarországi Fióktelepe

Válassza az egészségközpontú megoldást Oerlikon Balzers orvosi PVD bevonataival

Abstract: The quality requirements for medical devices are increasing year by year. The functionalisation of surfaces through antimicrobial, highly wear-resistant coatings has become an indispensable component of modern medical technology. In addition to uncompromising quality, the medical industry also demands compliance with biocompatibility regulations. The innovative BALIMED PVD coatings from Oerlikon Balzers is especially developed for medical applications. Oerlikon Balzers has the knowledge and experience to develop application specific solutions for the medical industry

Az Oerlikon Balzers PVD bevonatai

A Balzers vékonyréteg-bevonatai jelentősen javítják a szerszámok és alkatrészek teljesítményét. A bevonatok néhány ezred milliméteres vastagságuk ellenére keményebbek az acélnál. Ezek az alacsony súrlódású vékonyréteg-bevonatok rendkívül kopásálló és kémiaiilag inert anyagok. Az optimális bevonat kiválasztásakor az adott alkatrész vagy szerszám rendeltetését és a gazdaságosságot egyaránt figyelembe kell venni. A bevonatok összetétele és paraméterei az ügyfél speciális igényei szerint is alakíthatók. Alkalmazási területei:

- Autóipar
- Motorsport
- Hajó, vasúti jármű és tehergépkocsi
- Repülőgépipar
- Orvosi eszközök
- Élelmiszer- és csomagolóipar
- Olaj- és gázipar
- Energiaipar
- Háztartási eszközök
- Dekoráció
- Gépipari alkatrészek
- Finommechanika és félvezetők

BALIMED: az Oerlikon Balzers PVD termékcsaládja kifejezetten orvosi eszközökhöz fejlesztve

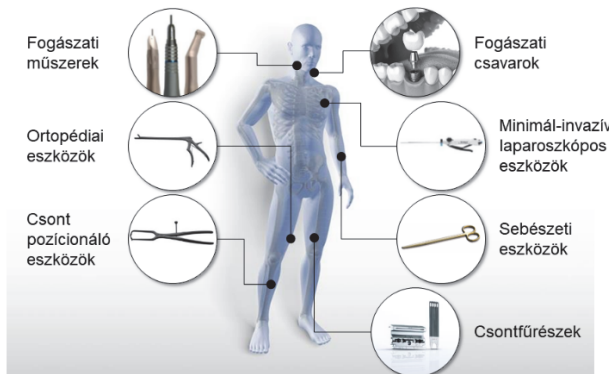
Az orvostechnikai eszközökre vonatkozó minőségi követelmények évről évre szigorodnak. A felületek antimikrobiális, rendkívül kopásálló rétegekkel való bevonása a modern orvosi technológia nélkülözhetetlen elemévé vált. A kifogástalan minőség mellett az orvosi ipar a biokompatibilitási előírásoknak is meg kell feleljen. Az Oerlikon Balzers rendelkezik olyan tudással és tapasztalatokkal, hogy alkalmazás-specifikus fejlesztéseket szolgáltatson az egészségügyi ipar számára.

Az innovatív bevonatok észrevehető előnyökkel járnak

Hogyan csökkenthető a nozokomiális fertőzések magas előfordulási gyakorisága? Mi teszi sikeresebbé az MRSA elleni küzdelmet, különösen az ortopédiai és az orvostechnikai eszközök terén? Az Oerlikon Balzers tudja, hogyan kell kezelni ezeket és más kihívásokat a BALIMED orvosi bevonataival. A BALIMED bevonatok funkcionális színei létfontosságú tulajdonságokat foglalnak magukba:

- Biokompatibilitás: ISO 10993 szerint tanúsítva
- Féminiok leválásának megelőzése: Diffúziót akadályozó tömörség
- Tükröződésmentes tulajdonságok: A fekete bevonatok a sebészek számára nyújtanak segítséget a gyorsabb és kényelmesebb munkavégzésben
- Bevonatolt eszközök: Az éles vágóélek megtartása, karcállóság és a berágódás megelőzése
- Csökkent súrlódás: Megszünteti, vagy csökkenti a kenésigényt ezáltal hosszabb élettartamot biztosít
- Bizonyítottan biokompatibilis orvosi bevonatok: Megvédi a pácienseket a sérülésektől vagy károsodásoktól
- Ismétlődő autokláv ciklusokkal szembeni ellenállás: Megtartott kiváló bevonattapadás, funkció és szín az ismételtsterilizációs ciklusok alatt
- Korrozóállóság: A tisztítószernek és a sterilizálásnak ellenáll
- Dekorációs célok: Szín szerinti megkülönböztetést tesz lehetővé

A BALIMED bevonatok hozzájárulnak a páciensek jobb életminőségének javításához



Page 11

1. ábra: A bevonatok alkalmazási területei az orvostechnikában

Név	BALIMED™ A	BALIMED™ ALTINA	BALIMED™ FUTURA	BALIMED™ CNI	BALIMED™ C	BALIMED™ C DEEP BLACK	BALIMED™ DLC	BALIMED™ DLC DEEP BLACK	BALIMED™ ARGENTA	BALIMED™ TITAN A	BALIMED™ ZIRCONA
Bevonat anyaga	TIN	ATIN	TAIN	CNI	a-CHW (WCIC)	a-CHW (WCIC)	a-CH	a-CH	TiNAg	TiCN	ZrN
Keménység	2500	3300	3300	1750	1000-1200	1000-1200	2000-2500	1000-1500	2500	3500	2000-2500
Bevonatvastagság (mikron)	1-5	1-5	1-5	2-5	1-4	1-4	1-4	1-5 microns	1-5	1-5	1-4
Szín	Arany	Fekete	Bronz	Ezüst	Szürke	Fekete	Fekete	Fekete	Arany	Rózsaszín	Halvány arany
Száraz súrlódási tényező	0,4	0,6	0,6	0,3	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,5	0,5	0,5
Bevonatolási hőmérséklet	250-500°C	250-500°C	250-500°C	180°C	200-250°C	200-250°C	200-250°C	250-300°C	350-500°C	300-500°C	250-500°C
Alkalmazás	- Kopásállóság - Megakadályozza a fémionok leválását - Színkódolás	- Kopásállóság - Tükröződésmentesség	- Kopásálló - Színkódolás	- Nagy ábrázolóval szembeni ellenállás - Korrózióállóság - Tapadásmentes	- Kis súrlódás - Száraz kenés	- Kis súrlódás - Tükröződésmentesség	- Kis súrlódás - Nagy ábrázolóval szembeni ellenállás - Tükröződésmentesség	- Kis súrlódás - Tükröződésmentesség	- Kopásállóság - Antimikrobiális	- Kopásállóság - Színkódolás	- Megakadályozza a fémionok leválását - Színkódolás
Cytotoxicity (72 h)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sensitization	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Irritation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Citotoxicitás: MEM-ellátás 72 óra (USFDA 21 CFR 58, rész szerint)
 Érzékenység: Maximizálás. Magnusson-Kjomen módszer (az ISO 10993 szerint)
 Irritáció: Intracután reakcióképesség (az ISO 10993 szerint)

2. ábra: BALIMED termékpaletta

Fogászati alkalmazások

A fogászati alkalmazások speciális előnye, hogy a fogászati csavarok akár 400N szorítóerővel is használhatók.

Alkalmazások - fogászat

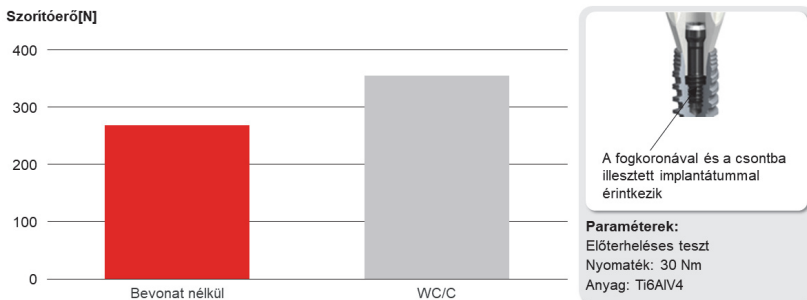


Page 15

3. ábra: A bevonatok alkalmazási területei az fogtechnikában

A kis súrlódású BALIMED™ C (WC/C) csökkenti egy adott szorítóerőhöz szükséges rögzítőnyomatékot (vagy ugyanakkora nyomatékkal nagyobb szorítóerő érhető el). Ez stabil rögzítést eredményez és csökkenti a sérülés vagy csavartörés kockázatát. Továbbá lehetővé teszi a korona újrapozícionálását.

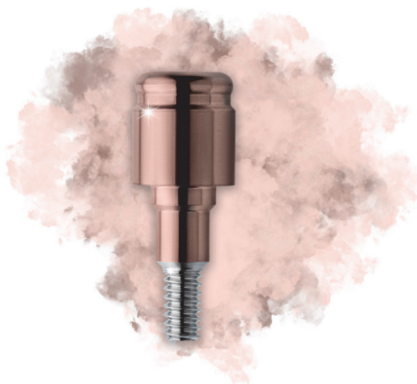
Fogászati implantátum – Felépítmény csavar



A kis súrlódású BALIMED™ C (WC/C) csökkenti egy adott szorítóerőhöz szükséges rögzítőnyomatékot (vagy ugyanakkora nyomatékkal nagyobb szorítóerő érhető el). Ez stabil rögzítést eredményez és csökkenti a sérülés vagy csavartörés kockázatát. Továbbá lehetővé teszi a korona újrapozícionálását.

4. ábra: BALIMED™ C (WC/C) alkalmazási példa

BALIMED TICANA: Rózsaszín PVD bevonat kifejezetten fogászati implantátumokhoz és eszközökhöz



5. ábra: BALIMED TICANA

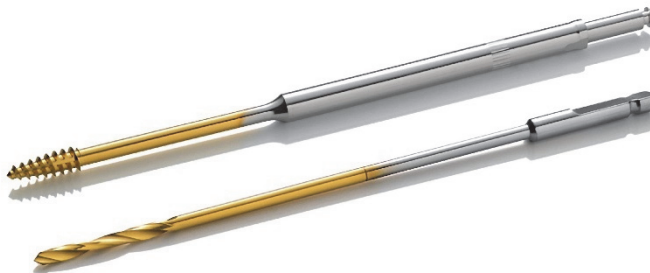
A fogászati implantátumokkal szemben egyre szigorúbbak a követelmények:

- A biokompatibilis, nagy kopásállóságú bevonatokkal rendelkező implantátum felépítmények a mai fogászati technológiák szerves részei
- A fogászati eszközöknek rendkívül sima, kemény, kémiaiilag stabil és autóklávozható bevonatokra van szüksége
- A színkódokkal ellátott eszközöknek köszönhetően a fogászok és sebészek könnyebben azonosíthatják őket a beavatkozások közben

Az Oerlikon Balzers innovatív BALIMED™ TICANA bevonata nemcsak megfelel ezeknek a szigorú követelményeknek, hanem az ínnyel megegyező színe van, amelynek köszönhetően diszkrét és esztétikus miközben biztosítja az elvárt felhasználói tulajdonságokat a fogászati implantátumoknak. A minimális abrázio és kopás stabil rögzítést és hosszabb élettartamot biztosít. A BALIMED™ TICANA egyedülálló tulajdonságai:

- Rózsaszínű: Az íny természetes színével megegyező esztétikus megjelenés
- Rendkívül kemény, abráziónak és kopásnak ellenálló TiCN bevonat: Tartós felület, hosszan tartó fogászati protézisek, a fogkorona nagy stabilitása, nagy keménység: HIT [GPa] >35
- Nagy színtartósság és stabilitás: Stabil szín: 34 napi 25 tömeg%-os NaCl oldatban áztatva nincs színváltozás ($\Delta E = 0,7$)
- Korrozíós ellenállás: Védelem szájápoláskor, nyállal és egyéb korrozív közeggel szemben
- Nincs mikroszkópos vizsgálattal megfigyelhető korrozíós nyom

BALIMED ARGENTA: az antimikrobiális ezüst bevonat



7. ábra: BALIMED ARGENTA

A sebészeti helyi fertőzések biztonságos és hatékony megoldásokat követelnek, melyek csökkentik a bakteriális biofilm kialakulását. Minden invazív sebészeti eszköz átvágja a szervezet természetes védelmi vonalait, és így teret ad a fertőzésnek. A BALIMED ARGENTA példátlan antimikrobiális felületi tulajdonságokat nyújt ezen eszközökhöz. A bakteriális log-redukciós vizsgálati módszer kimutatta az új PVD-Ag adalékolt bevonatok magas antimikrobiális hatékonyságát. A BALIMED ARGENTA egyedülálló tulajdonságai:

- Magas antimikrobiális hatás: Log 3 redukció SA és MRSA törzs esetén
- Autokláv sterilizálás nincs hatással az antimikrobiális aktivitásra
- Log 3 redukció autokláv ciklusok után (50-szer)
- Nincs citotoxikus hatás (ISO 10993-5)
- Új generációs PVD bevonat 2-5% hozzáadott ezüsttel
- Rétegvastagság 2 μm
- ASTM 2180 által igazolt antimikrobiális hatás
- Autokláv stabilitás

Összefoglalás

Az Oerlikon Balzers bevonatai a felhasználási tulajdonságok és előnyök széles skáláját biztosítják egy olyan szigorú követelményeket jelentő piacon is, mint az orvostechnika. Ismerje meg bevonatainkat, keressen meg minket.

Kapcsolat

Oerlikon Balzers Coating Austria GmbH Magyarországi Fióktelepe

H-8000 Székesfehérvár Babér u. 6

T +36 22 506 631

F +36 22 506 632

info.balzers.hu@oerlikon.com

www.oerlikon.com/balzers/hu

Digitalizáció a hőkezelésben, avagy a hőkezelő berendezés paramétereinek elérése valós időben, távolról

Virágh Zsolt

ANTAL Ipari- és Kereskedelmi Kft.

Tisztelettel üdvözlök minden jelenlévőt!

Az előadás jellege az ezt megelőző konferencia témájára épülve és annak elemeit felhasználva, kiegészítve kerül bemutatásra. Jelenleg még mindig nem beszélhetünk ipar 4.0-ról viszont az adatközlések, regisztrálások, felügyeleti eszközök igenis rohamos ütemben fejlődnek. A hőkezelő rendszereknél és az ügyfeleinknél is jelentős fejlődés figyelhető meg ezen a téren, melyeket igyekszünk követni és megfelelni ezeknek a kritériumoknak.

1. Digitalizáció a hőkezelésben

Digitalizáció. Manapság, különösen a járvány óta, rendszeresen halljuk ezt a szót. Valóban, az utóbbi időben a digitális technológiák használata egyre inkább létkérdéssé válik. De vajon mit jelent a Digitalizáció?

A Digitalizáció fogalma:

„Az a folyamat, amikor egy fizikai mennyiséget valamilyen módon számítógéppel feldolgozhatóvá tesszük.”

És ebben igyekszünk segíteni ügyfeleinknek. Mi a hőkezelésben tapasztalt valós értékek feldolgozását tesszük lehetővé redundáns adatgyűjtéssel, real-time eléréssel, távoli support létrehozásával.

Különböző megoldásokkal kényszerültünk az alábbi problémákat, kérdéses témaköröket megoldani. A beérkező jelek feldolgozása és értelmezése kulcsfontosságú pillére a termelés felgyorsításának, illetve a lehetségesen felmerülő hibák kezelésének és időben történő lereagálásának. Az egyik gyártóisorunk telepítése közben szembe találtuk magunkat a CQI-9-es szabvány követelmeivel. A szabványban található számos olyan elvárás, amely a digitális technika nélkül nem lenne kivitelezhető. Gondolok itt olyan adatgyűjtésre, mely végigkíséri a hőkezelendő anyag teljes életútját. Ez a követelmény hozta a felismerést számunkra fejleszteni kell!

Alapvető feladatunk volt egy olyan redundáns hálózat létrehozása ami real-time kommunikációt tesz lehetővé ember és gép között anélkül, hogy az közvetlenül a berendezés mellett állna. Ez a felismerés számos lehetőséget és természetesen problémát hozott számunkra. Igyekeztünk a lehető legegyszerűbben még is teljes körűen eljárni.

2. Hőkezelő berendezés paramétereinek elérése valós időben

Megismerkedtünk a Siemens olyanfajta lehetőségével, ami lehetővé tette a PC-PLC, PLC-PLC kapcsolatot egy Siemens által kifejlesztett saját Profinet hálózat az úgynevezett Put/Get kommunikáció. Innentől kinyílt a világ és csak a képzelet szabott határt az adat tömegnek.

Egy a központi irodában elhelyezett PC gyűjti az adatokat és mind-e mellett mutatja ugyan azt a kijelzőt, mint ami a kemence megjelenítőjén (HMI-n) látható. A különbség mindösszesen csak annyi, hogy a biztonságot szem előtt tartva aktív atmoszféra alá nem lehet helyezni távolról a kemencét, program nem indítható csak szerkeszthető. A PC-n a megjelenítésért egy Siemens szoftver felel egy úgynevezett (Wincc Runtime Advance) ami képes az említett kommunikációra a PLC-kel. A következő kihívás a vonalkód alapú (munkalap számmal) ellátott anyagkövetés volt. A gyártósor kettő többcélú egy mosó és egy megeresztő kemencéből áll, ezekhez tartozik négydarab rakodóasztal és egy ollós emelő. A berendezések között egy manipulátor kocsi szállítja az adagokat, erre a berendezésre helyeztünk fel egy vonalkód olvasót, ami képes az adaggal érkező vonalkód beolvasására rögzítésére. Ahogy megtörténik az adag felvétele a manipulátorra és beolvassák a vonalkódot, innentől a berendezés minden berendezésbe be és kirakodás közben oda vissza pakolja a vonalkódot a berendezések között.

Amikor az adott adag a berendezésben program start jelet kap az irodában lévő PC-n futó saját fejlesztésű program elkezd az adatgyűjtést. Minden berendezés tizenkettő vonalkódot képes rögzíteni és minden vonalkód alá külön kerül be a rajta történt hőkezelés, illetve még a mosás is.

A szabvány feltételeinek köszönhetően minden nyomon kell, tudunk követni. Esetlegesen, ha az ízzítótérben lévő anyag nem ér át másfél perc alatt az edzőközegbe nem csak a berendezés ad hibajelzést, hanem az irodában lévő PC-is. Minden kijelzőn megjelenő hibaüzenet látható az irodában is nyomon követhető a hiba beérkezésének ideje, nyugtázásának pontos pillanata is.

Ezekkel az eszközökkel a kezünkben bármilyen adatszolgáltatásra képesek vagyunk.

3. Távoli elérés

Minden ilyen rendszer az informatikusok Achilles sarka ugyan is, így ha felengednénk a világhálóra azonnal támadhatóvá válna a PLC-s hálózatunk, ezért le kell választani. Ezt a feladatot két hálózati kártya biztosítja, míg a PLC-s hálózatot az egyik kártyával lehet elérni, addig a külvilágot egy másik hálózat a felelős a megfelelő védelmi protokollokkal. Manapság általában már mindenki zsebében lapul egy mobiltelefon vagy rendelkezik egy számítógéppel, melyek képesek Etherneten elérni bizonyos platformokat. Általánosságban teamviewer vagy ultravnc-vel létesítünk kapcsolatot az irodai számítógépünkkel. És pontosan e-miatt, vannak azok a biztonsági funkciók beépítve, hogy véletlen sem lehet beavatkozni a kemence életébe csak nyomon követni azt. A másik fontos felismerés, hogy ezek a kommunikációs lehetőségek elérések lehetővé tették az, hogy azonnali szupportot tudjunk nyújtani bármilyen meghibásodás esetén. Az irodai számítógépet ellátjuk a PLC programozó szoftverével, amit csak a hozzá jogosult jelszóval lehet megnyitni és távolról kisebb problémák azonnal orvosolhatóvá válnak, mérhetetlen időt és költségeket spórolva meg mindkét félnek. Minden

esetben lokálisan kell a programok módosítását végezni távolról is tehát a program módosítás az irodai gépről kell, történjen esetleges hálózati probléma miatt az elindított letöltés akkor is végig megy, ha a szupport leszakad a hálózatról.

- Könnyű integrálhatóság
- Redundáns hálózat (nincs adatvesztés)
- Real-time kommunikáció
- Azonnali segítség
- Kevesebb idővesztés
- Nyomon követhetőség

Köszönöm szépen a figyelmet!

Kérdésük esetén, szívesen válaszolok, állok rendelkezésre.

A valóság a legjobb tanító!

Antal Péter

ANTAL Ipari- és Kereskedelmi Kft.

Tisztelettel üdvözlök minden jelenlévőt!

Az előadásom címe lehetne, „Jó pap holtig tanul” is. Az elmúlt időszakban, üzembe helyezések, szervizek kapcsán, nem tökéletes, illetve kifejezetten rossz technológiai körülmények között üzemelő berendezésekkel kerültünk kapcsolatba. Nagyon sok volt az ellentmondás. A körülményeket figyelembe véve, eljárásokat eszközöltünk, melyek egyáltalán nem hozták az elvárt eredményt. A bevett rutintól elrugaszkodva, elővettük az elméleti alapokat, melyeken soronként végighaladva, megoldásokat találtunk a kialakult problémákra.

1. Általánosan, helytelenül alkalmazott védőgáz bevezetés, melyet a szakma gázlándzsaként ismer

Védőgázos kemencék esetében, minden gyártó részéről elfogadott, illetve kialakult rutin, hogy kamrás kemence esetében, a kamra fedelén keresztül vezeti be a védőgázt, a betétadag felett. Ez, endogáz-üzem esetében sem tökéletes, metanolból előállított endogáz esetében, pedig kifejezetten káros.

Korábban, már több alkalommal kerestek meg cégek az alábbiakkal:

- Áthaladó termelésű kemence esetében, koromcsík húzódik.
- Nem egyenletes az adagot képező alkatrészek között a keménység.
- Lágyfoltosság jelenik meg, hullámzó tendenciával.

Minden esetben, a szakma követelményeinek megfelelőek az eljárások. Tehát: „Minden jó és semmi sem.”

Utóbbi üzembe helyezésünk alkalmával, radikálisan alakult ki ez a jelenség. Az adagon, nagy koromfolt képződött, valamint – elhangzott a lényeg -, egyáltalán nem épült cementált kéreg, egyáltalán nem képződött keménység, a kormos területnél. Más területen megfelelően teljesült a technológia.

Ekkor úgy döntöttem, hogy a gázlándzsára, mint gázégőre gondolok – korábbi tanulmányaim elméleti alapjait felhasználva -. Ekkor be is következett a felismerés, melyet az ábrán mutatok be. Gáztüzelésnél, 3 fő részt említünk meg. Mag, szegély, seprű. A magban megy végbe a szétesés, amikor is a gázégőre vezetett tüzelő anyag és oxidáló anyag, molekuláris szerkezete atomokra esik szét. Ez a szétesési folyamat, rendkívül nagy hőelvonással jár együtt, tehát radikális hűtést hoz létre. A szegélyben történik meg az oxidáció, ahol a szén- és hidrogén atomok, az oxigén atomokkal egyesülnek. Valójában ezen a kis területen megy végbe az égés, hőfejlődés. Majd, az agresszív oxidációs folyamatot lezárandóan jön létre a seprű, mely már valójában maradék, elégetlen részeket – égéstermékét tartalmaz, ahol a környezeti levegőből származó oxigénnel történik meg a maradék alkotók égése. Előző folyamathoz az irányított,

szabályozott levegő hozzávezetést, primer levegőnek, míg a seprű égéséhez vezetett oxigént, secunder levegőnek nevezzük. Ezt az oxigén mennyiséget, igény szerint veszi fel a seprű.

Esetünkben, oxigénszegény térbe vezetjük be az éghető metanolt, nitrogén segítségével. Az oxigénhiány miatt, az égés helyett, szétesés/disszociáció következik be. A metanol bomlásából származó szén-monoxid alapozza meg a cementáló kemence alap atmoszféráját. Ha ugyanezt az ábrát elemezzük, az égéshez szükséges oxigén nélkül, láthatjuk, hogy a vezetékből kilépő folyékony halmazállapotú metanol, az oxigénhiány miatt, elégés helyett, kizárólag csak a bomláson megy keresztül. Tekintettel arra, hogy a lángból elmarad a szegély, valamint a seprű, ezzel együtt elmarad a magas hőmérsékletképződés is, ellenben a bomlásból származó hűtőhatás egyedülként megmarad. Ezt, a nagyon alacsony hőmérsékletű közeget, az üzemi nitrogén mennyiségével fűvátjuk a 880 – 950 °C hőmérsékletű kemence kamrába. Ha az adag és a bevezetett gázok, közel helyezkednek egymáshoz képest, a bomlásból származó hűtőhatást az adagon fogjuk érvényesíteni. Ezzel a felismeréssel már világossá vált, hogy az adag azon területe, ahol ez a hűtőhatás érvényesül, az adag az érzékelhető hőmérséklet alatt van, pontoszerűen nem történik meg az elvárt hőmérséklet elérése, valamint a koromhatár miatt, az alacsony hőmérsékletű területen, korom kiválás jön létre. Ez a korom, szintén az oxigénhiány miatt megmarad, nem ég le a felületről.

Megoldásként, a gázlándzsánkat áthelyeztük, egy technikai karmantyúba, mely a sugárzó csövek között került beépítésre a kemence fedelébe. A kisserelt gázlándzsa karmantyúját ledugóztuk. A gondolat tökéletesen bevált. Így, az igen nagy hűtőhatást, a kemencetérnek azon részébe helyeztük át, ahol a legnagyobb hőfejlődés keletkezik, az adagtól eltávolítva. Gondolhatnánk, hogy innentől kezdve a kemencetér „sánta”, azonban ez nem így van. A gázoknak van egy alapjellemezője, ez pedig a nagy sebességű keveredés, kiegyenlítődés, melyet tovább segít, a fedélbe épített keringető ventilátor. Ezzel az átépítéssel, teljesen megszűnt a technikailag jól beállított kemencetér mellett a kormosodás. Homogénné vált az adag, technikailag megbízható lett a technológia lefolytatása. A „technikailag” szót, amiatt alkalmaztam, mert nem lett teljesen tökéletes a szénatmoszféra szabályozása és ezzel át is fűzném a következő témára az előadásomat.

2. Hibás paraméter, bázisként történő alkalmazása

Egy további, a technológiára káros jelenség alakult ki a kemencében. Az elméletileg számított és a tapasztalatok alapján meghatározott gázmennyiségek ellenére, a kemence a következőt produkálta:

- A már túl nagy zsírzógáz (földgáz) mennyisége (0,6 m³/h helyett, 3-4 m³/h) mellett, a kemence nem, illetve nagyon lassan érte el a technológiához szükséges szintet. Tökéletes esetben, a szénszint növekmény, 0 – 1,1-1,2 tf% szénszintig, 5 – 15 perc alatt bekövetkezik. Ebben az esetben, ~ 3 óra volt az időtartam. A kívánt szénszint elérést követően, a szabályozás szinte lehetetlenné vált. Óriási lengések mellett volt csak képes a kemence tartani a kívánt szénszintet. Ezzel tulajdonképpen átlagot képeztünk, az pedig nem kielégítő a technológia szempontjából. Többszöri technikai vizsgálat, kalibrálás, alkatrészcsere sem igazolt hibát. Ismételten, minden tökéletes, de semmi sem az.

Elgondolkodva, ismét a tüzeléstechnikai alapokhoz nyúltam vissza. Tanulmányaimból merítve, illetve az alkalmazástechnikában meg is tapasztaltak alapján, elgondolkodtam a földgázból eredeztethető hibán. Meg is született az elmélet, a zsírzógázként alkalmazott földgáz összetételére vonatkozóan. Meghatározása alapján, a földgáz, 97%-ban tartalmaz metánt (CH_4), további 3 %-ban pedig szennyezőt, inert gázt, melyek, a 3 %-on belüli tartományban nem befolyásolják a földgáz felhasználásának körülményeit. A szolgáltatott földgáz, talán inkább gáznemű tüzelőanyagként határozható meg egészen pontosan, ugyanis a 97 % metán tartalom változhat. A földgáz elszámolásának egyik alaptétele a fűtőérték, mely átlagosan $34\text{--}35 \text{ MJ/m}^3$. Ebből adódik, hogy a tüzelő anyagnak ezt kell tartalmaznia. A földgáz iránti gyanúm, egy korábbi, kerámiaégető kemence kapcsán merült most is fel. Akkor, abban az esetben, lehetetlen volt a tökéletes körülményekre beszabályoznunk a kemence tüzelését. A szolgáltatott gázra terelődött a gyanú, így egy erre minősített zsákban mintát szállítottam egy független ásványolaj laboratóriumba, ahol a tételes vizsgálatot el is végeztem. Az eredmény önmagáért beszél, a gyanú beigazolódott. A nagyon sok inert tartalommal rendelkező gáz, kisebb mennyiségben, de nagyobb fűtőértékű (egyébként oda nem illő) gázokat tartalmazott. Ezen a gondolatmeneten elindulva jutottam arra a következtetésre, hogy ha ebben az esetben is ez áll fent, akkor elképzelhető, hogy emiatt nem tudjuk beállítani a szükséges körülményeket a berendezésben. Az újbóli vizsgálati procedura helyett, most úgy döntöttem, hogy egyből kalibrált propán gázzal végezzük el a zsírzógáz mennyiségének hozzávetését. A Linde cégtől azonnal be is tudtuk szerezni a próbához szükséges mennyiséget. A berendezést átkalibráltuk földgáz helyett, propán zsírzógáz felhasználásra. A propán alkalmazása tökéletes eredményt hozott, így a partnert felkértük, hogy telepített tartályról alakítson ki elvételt. Ez meg is történt, a berendezés és az abban alkalmazott technológia tökéletes, mind kemence oldalról, mind pedig technológiai elvárás oldalról tökéletes a teljesítés. Ezt a problémát felismerve, azonnal az összes hasonló installációnknál bejelentkeztünk és elvégeztük a módosítást.

3. A megnövekedett rezsiköltségek optimális alkalmazása, hőkezelő berendezésen

Cementáló technológiai berendezések kapcsán általános szakmai nézet, hogy a berendezés teljes falazata, vagy oldalfalazata, kizárólag hagyományos samott téglafalazati konstrukció lehet, mert ez biztosítja a jó kemence atmoszférát. Mi is mentünk utána ennek a nézetnek korábban, azonban egy megbízás alkalmával, azonnali segítséget kellett nyújtanunk. Óriási termelési leterheltségnél, egy kamrás kemence boltív szegmense megreagzott, beleült az atmoszféra keverő ventilátor járókerekeibe. Adta magát az elképzelés, támasszuk vissza ezt a szegmenst. Egyáltalán nem volt lehetséges a kivitelezés. A teljes boltív kibontásának vonzata adódott, de ezzel együtt, az oldalfalazat cseréje is szükségessé vált. Sem boltív anyag, sem pedig oldalfalazat anyag nem volt raktáron ekkor. Egy korábbi kivitelezésünk miatt, mely tökéletesen működik, felmerült a szálerámia modul blokk szigeteléssel való kivitelezés. Ez volt raktáron, illetve gyors beszerzéssel ezt ki is tudtuk egészíteni. Ennek jelentősége az, hogy szakmai körök tagadják a szálerámia nagy mértékű alkalmazását, arra hivatkozva, hogy a szálas anyagnak óriási a felülete, melyen a megtapadó oxigén, károsítja a cementáló atmoszféra kialakulását. Tény az, hogy a szálas kerámia szigetelő anyagnak óriási a felülete, azonban a jó átjárhatóság miatt, ez nagyon gyorsan kezelhető, eltávolítható. A cementáló gáz, az endogáz, térfogatának 40 %-a hidrogén, mely ezt a tapadó oxigén mennyiséget rendkívül

gyorsan felveszi, vízgőzként távozik a berendezésből az utánégető irányában, a technológiát innentől kezdve egyáltalán nem befolyásolja. Előnyök a szálkerámia blokkok mellett, melyek nagyobb hangsúlyt képeznek tapadó oxigén problémaköréhez képest:

- Könnyű beszerezhetőség
- Gyors, pontos kivitelezhetőség
- Tartósság (nincs repedés, leválás)
- Kiváló hőszigetelő képesség
- Koncentrált, egzakt hibaelhárítás
- Töredéke a tömege a samott falazathoz képest
- Gyors felfűtési- és lehűtési sebesség érhető el
- Rosszabb a hővezetése a samott falazathoz képest
- Zsugorodás, megnyílás esetén, egyszerűen, utántöméssel javítható a szigetelés sűrűsége.
- A fizikai hőmozgásokra való érzéketlenség miatt, nagyon hosszú az élettartama.

Köszönöm szépen a figyelmet!

Kérdésük esetén, szívesen válaszolok, állok rendelkezésre.

A Böhler K340 acél hűtési paramétereinek hatása a szerszám minőségére

The effects Böhler K340 steel cooling parameters on tool quality

Dr. Tóth László¹, Dr. Fábián Enikő Réka²

^{1,2}*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag-
Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék,
H-1081 Budapest, Népszínház u. 8*

¹ *toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu*, ² *fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu*

Abstract

The tool quality is primarily shown in the tool working life, which is expressed in the amount of goods parts that a given tool is capable of machining. The quality of the tool is mainly determined by the properties of the steel. The properties of the steel can be influenced by its chemical composition and heat treatment. Based on the chemical composition, we can decide what properties can be achieved in the case of that steel grade using different heat treatment technologies. Heat treatment technologies consist of heating, heat holding and cooling cycles. Among these, one of the most important factors is the determination of the appropriate cooling parameters. In our work in the case of the Böhler K340 cold-forming tool steel, on the different cooling conditions we studied the achievement of the appropriate microstructure which is decisive for the tool quality.

Keywords: cryogenic treatment, tool steel, heat treatment, quality, cooling parameters

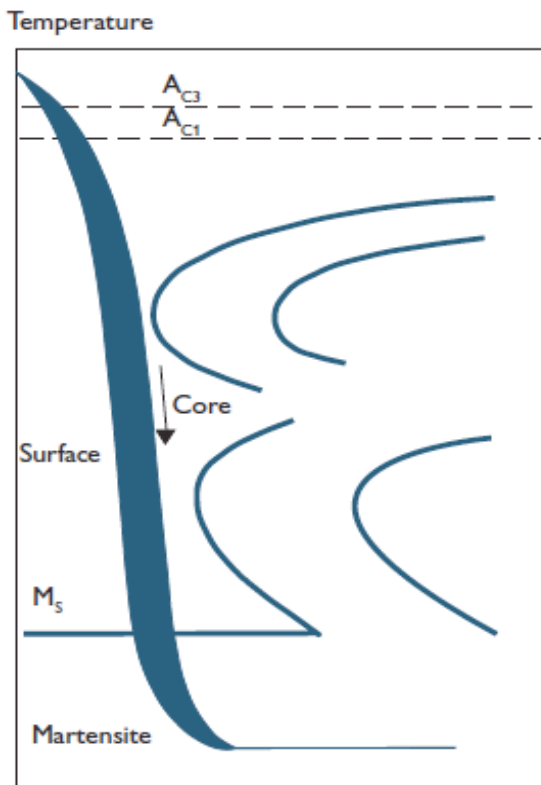
Absztrakt

A szerszámok minősége elsősorban az adott szerszám élettartalmában mutatkozik meg melynek mutatója a vele legyártható megfelelő termékek mennyisége. A szerszám minőségét főleg az acél tulajdonságai határozzák meg. Az acél tulajdonságait a vegyi összetétele és a hőkezelése befolyásolhatja. A vegyi összetétel alapján tudjuk eldönteni, hogy milyen tulajdonságokat érhetünk el egy adott acélminőség esetében különböző hőkezelési technológiák alkalmazásakor. A hőkezelő technológiák hevítési, hűtési és hűtési ciklusokból állnak. Ezek közül az egyik legfontosabb tényező a megfelelő hűtési paraméterek meghatározása. Munkánkban a Böhler K340 hidegalakító szerszámacél esetében a különböző hűtési viszonyok alapján tanulmányoztuk a megfelelő szövetszerkezet elérését mely meghatározó a szerszám minősége tekintetében.

Kulcsszavak: mélyhűtés, szerszámacél, hőkezelés, minőség, hűtési paraméterek

Bevezetés

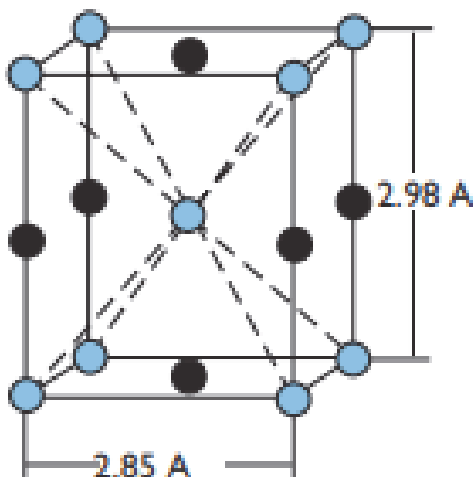
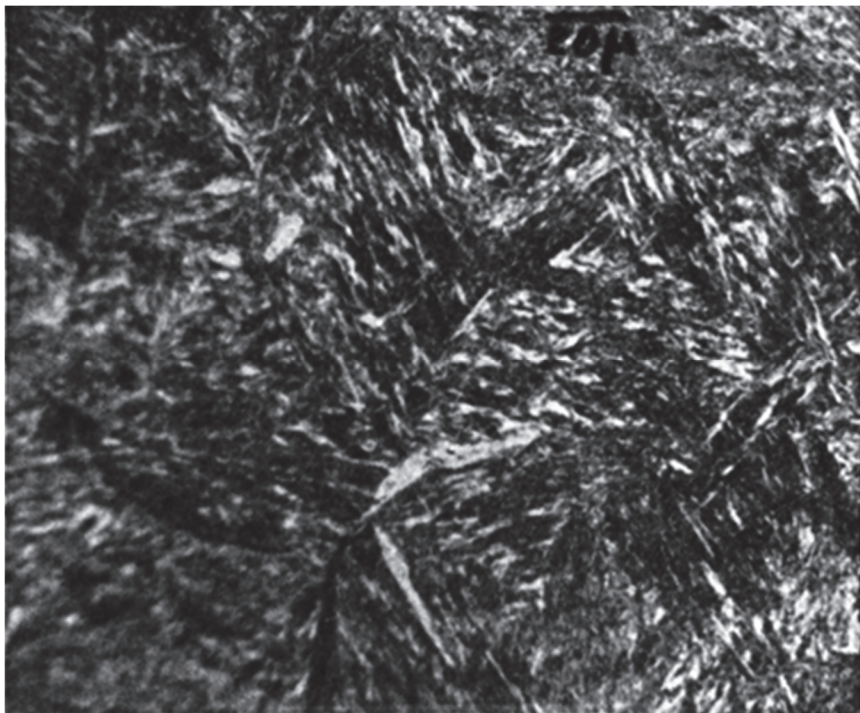
Egy szerszám élettartalma az egyik legfontosabb gazdasági tényező, ez az az idő amikor hatékonyan, eredményesen működik, termel, melyet leggyakrabban a szerszám által legyártott termékek számával, mennyiségével mérik. A szerszám élettartalmát elsősorban az anyagminőség és a szerszám hőkezeléssel elért tulajdonságai, mikroszerkezete, feszültségi állapota határozza meg [1]. A legyártott szerszám végső tulajdonságait hőkezeléssel állítjuk be. A hőkezelési ciklusok hevítésből, hőtartásból és hűtésből állnak. Tanulmányunk során a Böhler K340 Isodur hidegalakító szerszámacélból készült szerszámok esetében tárgyaljuk az optimális hűtési viszonyokat a legkedvezőbb szövetszerkezet kialakítása céljából. Egy szerszám minőségét nagyban befolyásolja az edzés után elért szövetszerkezet. Az edzés ausztenítéséből és a kritikus hűtési sebességnél gyorsabb hűtésből áll (1. ábra).



1. ábra Hűtési sebesség edzéskor

Az 1. ábrán láthatjuk, hogy az ausztenítésési hőmérsékletre (A_{c3} fölötti) való hűtésekor a munkadarab felülete gyorsabban hűl mint a magja. Ha a mag hűtési sebessége nem nagyobb a kritikus hűtési sebességnél, akkor a mag szövetszerkezet edzés után eltérő lesz a felület szövetszerkezetétől, ami inhomogenitáshoz vezet.

Az edzés egy gyors diffúziómentes átalakulás, célja a 100%-ban martenzites szövetszerkezet elérése [2]. Az ausztenit martenzitté történő átalakulása a martenzites átalakulás kezdeti, azaz az M_s (martensite start) hőmérsékleten kezdődik és az M_f (martensite final) hőmérsékleten fejeződik be.



2. ábra Martenzit szövetszerkezete és rácsa

A martenzit szövetszerkezeti képe illetve a torzult tetragonális rácsa az 2. ábrán látható. A martenzites átalakulás belső feszültség valamint térfogatnövekedéssel jár.

Egy másik probléma mely főleg a szerszámacélok esetében okozhat kárt a maradék ausztenit, mely akkor képződik amikor nem teljes az ausztenit-martenzit átalakulás, mivel az M_s hőmérséklet negatív tartományba esik [3]. A maradék ausztenit főleg akkor okozhat kárt amikor a szerszám működése közben átalakul martenzitté és a térfogatváltozás miatt nyomó illetve húzófeszültség keletkezik a szerszám belsejében mely szerszámtöréshez vezethet. A maradék ausztenit mennyisége csökkenthető illetve megszüntethető az edzés utáni mélyhűtéssel [4]. Mélyhűtés során folytatódik az ausztenit martenzitté való átalakulása, a matrix homogenizálódása valamint a másodlagos, finom diszperz karbidok kiválása [5]. Mélyhűtés hatására nő az acél szívóssága, nő a keménység, csökken a feszültségi állapot és nő a kopásállóság [6].

A hűtési paraméterek meghatározásánál óvatosan kell eljárni, mivel a túl nagy hűtési sebesség termikus feszültségeket hőtágulásokat okozhat melynek eredményeképpen deformáció léphet fel. Lassabb hűtési sebesség esetében meg a felület és mag között a különböző szövetszerkezeti átalakulások miatt keletkezhetnek belső feszültségek.

Kísérleteink során a Titán 94 Kft, Schmetz típusú vákuum hőkezelő kemencéjében a Böhler K340 Isodur minőségű hidegalakító szerszámacél optimális hűtési paramétereinek a meghatározását végeztük el figyelembe véve a különböző falvastagságú próbatestek esetében a kritikus hűtési sebesség elérését a próbatest magjában is.

Alkalmazott eszközök, anyagok, technológiák

A hőkezeléseket az IU72/1F 2RV 60x60x40 mm, 10bar CP Schmetz típusú vákuum kemencében végeztük, mely alkalmas -150°C -ig mélyhűtésre is. (1.ábra).



1. ábra Vákuum hőkezelő kemence



2. ábra Optikai mikroszkóp

A szövetszerkezeti képeket az Olympus CKX 53 optikai mikroszkópon vizsgáltuk (2. ábra), míg a keménységméréseket egy ERNST típusú univerzális keménységmérő segítségével mértük (3. ábra). Az acél vegyi összetételét (1. táblázat) a Hitachi PMP2 típusú hordozható spektrométerrel állapítottuk meg (4. ábra).



3.ábra ERNST keménységmérő



4. ábra Hitachi PMP2 spektrométer

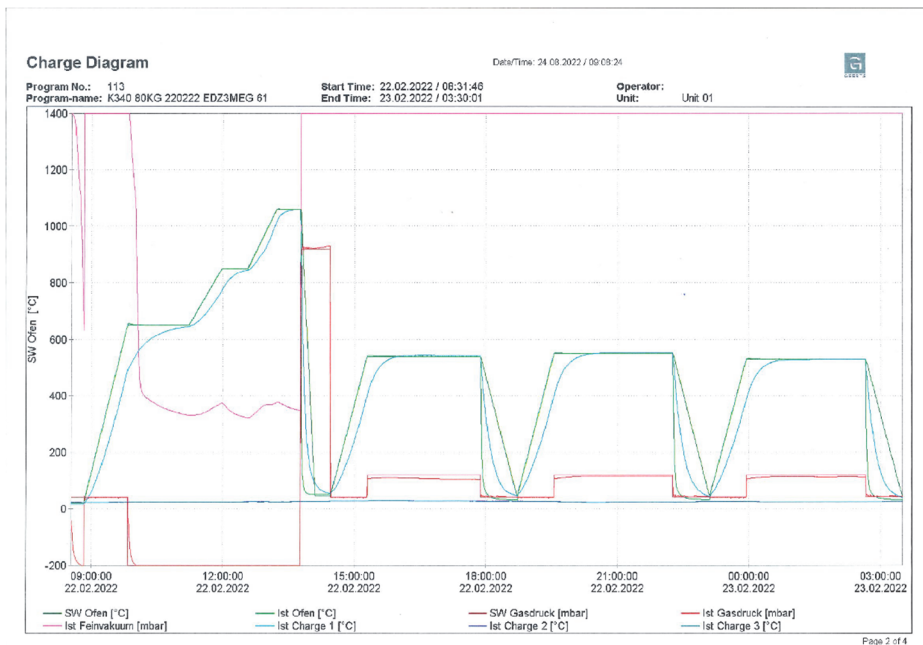
A Böhler K340 Isodur acél vegyi összetételét az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat A Böhler K340 Isodur acél vegyi összetétele

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
1,12	0,92	0,39	8,25	2,19	0,40

A hőkezelés során Pt-PtRh termoelem segítségével mértük a kemence hőmérsékletét, illetve egy flexibilis Cr-CrNi termoelemmel mértük a munkadarab magjának a hőmérsékletét. A kísérleteket három különböző tömegű mintákon végeztük (4kg; 57kg; illetve 80kg). Az ausztenítési hőmérsékletre (1060°C) való hevítés vákuumban történt. A hűtést 7bar nyomású nitrogén védőgázban végeztük miközben mértük a kemence illetve a mag hőmérsékletét. A kemence illetve a mag hőmérsékleteit a görbék alapján leolvastuk, táblázatba foglaltuk és berajzoltuk az acél C-görbéjébe. Mindhárom minta lehűlési görbéjét kielemeztük felhasználva az acél C-görbéjét is. A mintadarabokon szövetszerkezeti vizsgálatot végeztünk.

A 80kg-os szerszám hőkezelési diagramja az 5. ábrán látható. Az átalakulási hőmérsékletek alatt 650°C-on illetve 850°C-on valamint az ausztenítési hőmérsékleten (1060°C-on) hőkiegyenlítő lépcsőt alkalmaztunk. Az ausztenítési hőmérsékleten a hőkiegyenlítődés után még 25 perces hőntartást alkalmaztunk a homogén ausztenít kialakulása végett.



5. ábra K340-es 80kg-os szerszám hőkezelési diagramja

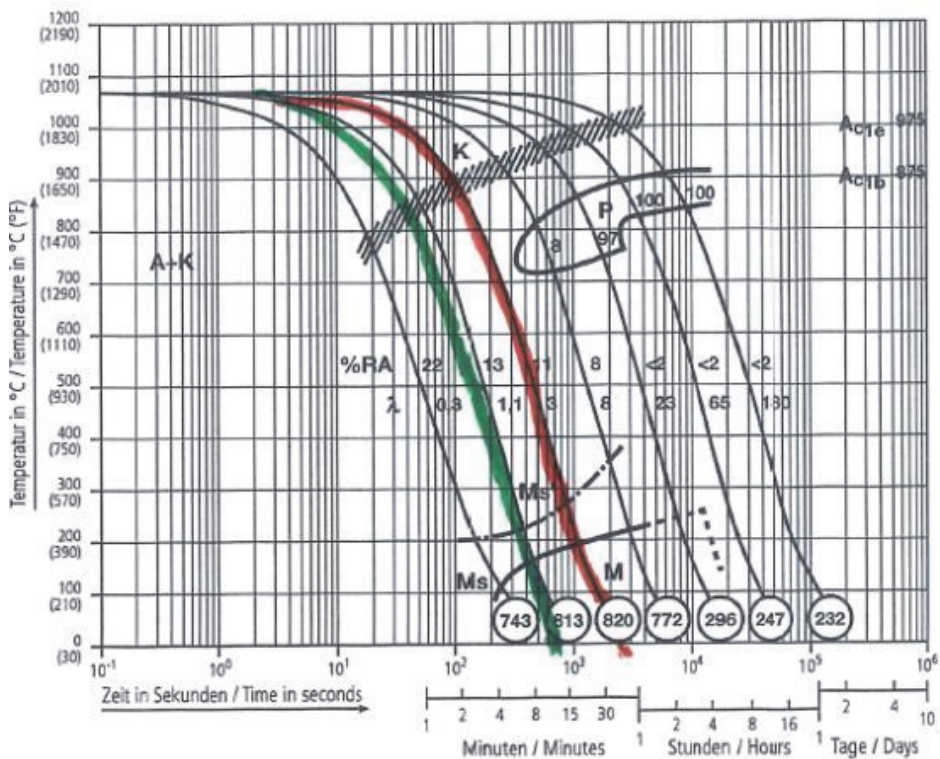
Mérési eredmények

Mindhárom munkadarab esetében a hűtési görbék alapján megállapítottuk a kemence és a mag közötti hőmérséklet különbség értékeit 1060°C-ról 50°C-ig való lehűtés esetében (2. táblázat).

2. táblázat Hűtési paraméterek és a hőmérséklet gradiens

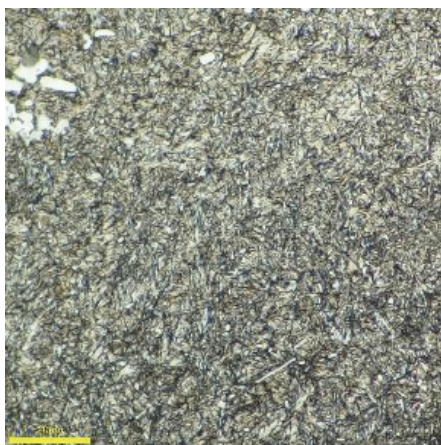
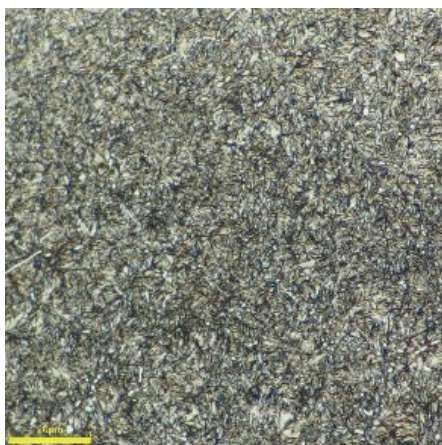
S.sz.	Darab, tömeg	Kemence hűtési idő 1060°C-ról 50°C-ra	Mag hűtési idő 1060°C-ról 50°C-ra	Hőmérséklet különbség
	kg	sec	sec	°C
1	4	420	480	60
2	57	660	1560	900
3	80	840	2160	1320

A Böhler K340 Isodur hőmérséklet-idő-átalakulás (C-görbe) görbéit a 6.ábra szemlélteti [7].



6. ábra A Böhler K340 -es minőségű acél C-görbéje

Az 6. ábrán a zöld színű görbe a 80 kg-os szerszám hűtése esetében a kemence hűtési görbéjét, míg a piros a mag hűtési görbéjét szemlélteti.



7. ábra A hőkezelt Böhler K340 -es minőségű acél szövetszerkezeti képe a felületen illetve a magban

A 7. ábrán a próbatest felületének illetve magjának a szövetszerkezeti képeit láthatjuk. Mindkét mintára jellemző a martenzites szövetszerkezet, melyben legalább 6% maradék ausztenit figyelhető meg valamint a karbidok jelenléte. Megjegyezzük, hogy ez a szövetszerkezet mélyhűtéssel és/vagy magas hőmérsékletű megeresztésekkel kedvező irányba változhat.

Következtetések

A Böhler K340-es minőségű hidegalakító szerszám élettartalmát, minőségét nagyban befolyásolja az alkalmazott hőkezelési technológia és azon belül is az edzés során alkalmazott hűtési paraméterek. Fontos, hogy az edzés után létrejött szövetszerkezet hasonló legyen a magban és a szerszám felületén is. Úgy a felületen mint a magban a lehűlési sebességnek kevéssel a kritikushűtési sebességnek nagyobbnak kell lennie. A nagyon nagy hűtési sebesség növelheti az edzés utáni maradék ausztenit mennyiségét.

Kísérleteink bebizonyították, hogy az adott Schmetz vákuumkemencében a Böhler K340 Isodur alapanyagból készült különböző méretű és tömegű (4kg, 57kg illetve 80kg) szerszámok ausztenítés után 7 bar Nitrogén védőgázzal hűtve homogén szövetszerkezetet biztosít az adott szerszám keresztmetszetében.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton kívánnak köszönetet mondani munkánkhoz nyújtott anyagi támogatásért a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00081 számú projekt keretében a Magyar Államnak és a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak.

The authors acknowledge the financial support of this work by the Hungarian State and the National Office for Research, Development and Innovation under the 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00081 project.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] „**László Tóth, Enikő Réka Fábián**”: Experimental Investigation to Increase the Plastic Mould Tool Life, International Conference on Strength of Materials, ICSMA 19th, Metz, France, 2022.
- [2] „**Jan Van Humbeeck**.”: The Martensitic Transformation, Materials Science Forum 366, pg.382-415, 2001.
- [3] „**László Tóth**”: The possibilities of the retained austenite reduction on tool steels, European Journal of Materials Science and Engineering, Volume 6, DOI:10.36868/ejmse.2021.06.02.099, 2021.
- [4] „**Dr. TÓTH László**”: Cryogenic Treatment Against Retained Austenite, Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki, ESB 2021, <http://bgk.uni-obuda.hu/esb/2021> pg.181-186
- [5] „**Patricia Jovicevic-Klug, László Tóth, Bojan Podgornic**”: Comparison of K340 Steel Microstructure and Mechanical Properties Using Shallow and Deep Cryogenic Treatment, Coatings open Access by MDPI, 2022.

- [6] „**B. Podgornic, I. Paulini, B., Zojec, S. Jacobson, V. Leskovsek**“:Deep Cryogenic Treatment of Tool Steels, Journal of Materials Processing Technology 229, pg.398-406, 2016.
- [7] **www.voestalpine.com/Bohler-edelstahl**, K340Isodur EN 03.2020.

Konvencionális és nem konvencionális lágyítás hatása DC01 acél esetén

Kondás Béla, Dr. Mertinger Valéria

Miskolci Egyetem, Miskolc



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC



Kerpely Antal
Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola



Konvencionális és nem konvencionális lágyítás hatása DC01acél esetén

Készítette: Kondás Béla / Prof. Dr. Mertinger Valéria

Balatonfüred, 2022.10.05.



1. A kutatás fókuszterméke- a téma jelentősége



- Az összes finomlemez fogyasztás kb 50%-a DC01 Magyarországon
- Jelentős a nemzetgazdaságra gyakorolt hatása
- Használati cikk és félkésztermék egyaránt készül belőle
- Jellemző feldolgozó művelete a mélyhúzás
- Gazdaságossági megfontolásból gyakran választják bonyolult formákhoz is



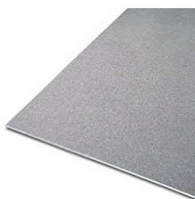
* A képek az Interneten elérhető szabadon letölthető forrásból származnak

2023.01.24.





2. Hátér- A DC01 minőségű lemeztermék jellemzői



- Hidegen hengerelt lemez
- Kis karbon tartalmú, ötvözetlen acél
- Hidegképlékenyalakításra kiválóan alkalmas
- Nincs definiált alsó folyáshatára
- Szakítószilárdsága, nyúlása csak 6 hónapig szavatolt

** ThyssenKrupp Steel Product Information on Tin-freeable DP, DC and DX, Standard 1 2013, Version 1

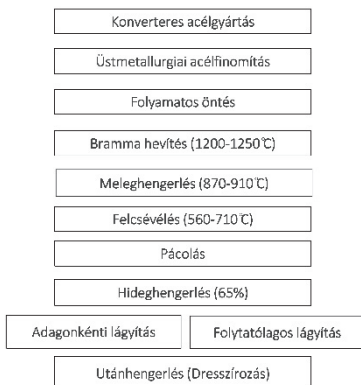
C%	Mn%	P%	S%	R _k	R _m	A ₅₀
max 0,12	max 0,6	max 0,045	max 0,045	-	270-410 MPa	28%

*** DIN EN 10130, Cold Rolled Low Carbon Steel Flat Products for Cold Forming, Technical Delivery Conditions, Deutsches Institut für Normung e.V. 2007

2023. 01. 24.



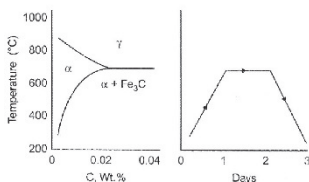
2. Hátér- DC01 acéllemezek gyártástechnológiája



2023. 01. 24.

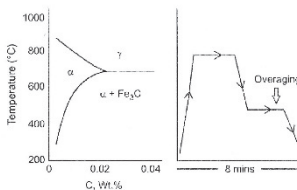


2. Hátér- DC01 acéllemezek gyártástechnológiája



Adagontélti lágyítás

- Egyszerű három szakaszos hőkezelési művelet
- Hosszú ciklusidő (2-3 nap)
- Lassú hevítés
- Hosszú hűntartás
- Lassú hűtés



Folytatólágos lágyítás

- Több lépcsős hőkezelési művelet (szemcsedurvítás)
- Rövid ciklusidő
- Egyenletes terméktulajdonság eloszlás a teljes tekercsben (mechanikai tulajdonságok kis szórása)

2023. 01. 24.





2. Háttér - Alakíthatósági mérőszámok

1. Képlékeny alakváltozási viszonyszám (r) (plastic strain ratio)

- A lemez vékonyodási hajlamát mutatja
- A húzókérsélet során a próbatest szélesség és vastagság irányú alakváltozásának a hányadosa

$$r = \frac{\ln \frac{b_1}{b_0}}{\ln \frac{l_1 b_1}{l_0 b_0}}$$

b1 a szakítópróbatest mérőszakaszának szélessége szakítóvizsgálat közben;

b0 a szakító próbatest mérőszakaszának szélessége kiinduló állapotban;

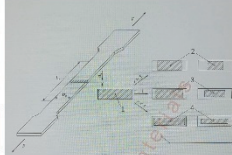
L1 a szakítópróbatest mérőszakaszának hossza szakítóvizsgálat közben;

L0 a szakítópróbatest mérőszakaszának hossza kiinduló állapotban

2. Közepes normál anizotrópia tényező ($\bar{r}$) (weighted average plastic strain ratio)

- normal strain ratio
- plastic anisotropy

$$\bar{r} = (r_0 + 2 \cdot r_{45} + r_{90})/4$$



* kép: DIN ISO 10163

3. Síkbeli anizotrópia tényező (Δr) (planar anisotropy)

- planar strain ratio
- normal anisotropy

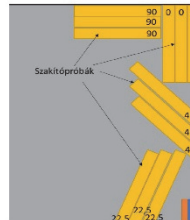
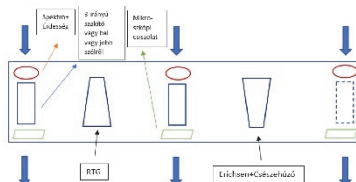
$$\Delta r = (r_0 + r_{90} - 2 \cdot r_{45})/2$$

2023.01.24.



3. Anyag és módszer- Vizsgálati terv

- Konvencionálisan harangkemencében adagonként hőkezelt (L jelű minta) és folytatólagos lágyító kemencében hőkezelt (F jelű) minták összehasonlítása az alakíthatósági mérőszámok és technológiai vizsgálatok eredményei alapján
- Minták friss gyártásból (fiatalabb mint 3 hónap)
- Szakító pálcák kivétele a táblából három irányból 0, 22,5, 45 és 90 fokos szöget bezárva a hengerlési irányval
- Erichsen (90X90 mm) + Csészehúzó próba (D=58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74 mm) minták összesen kb két A4-es lap nagyságú minta



2023.01.24.



3. Anyag és módszer- Minták vegyi összetétele

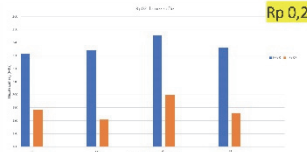
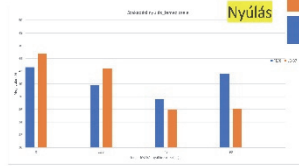
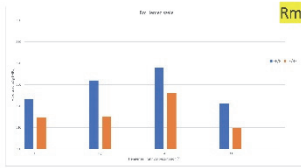
	C	Si	Mn	P	S	Al
L jelű minta	0,050	0,010	0,210	0,015	0,015	0,038
F jelű minta	0,025	0,012	0,210	0,010	0,007	0,042
Szabványelírás	0,120		0,060	0,045	0,045	

2023.01.24.





4. Eredmények - Szakítóvizsgálat eredményei

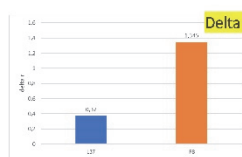
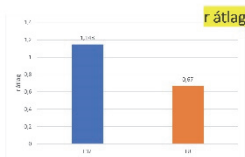


- Rp0,2 szabványos értéke max 280MPa
- Rm szabványos értéke 270-410MPa
- Nyúlás szabványos értéke min 28%
- A folytatólagoson lágyított Rm és Rp0,2 értéke jóval magasabbak mint a konvencionálisan lágyítotté, nyúlása viszont kisebb értékű
- Mindkét anyag kielégíti a szabványkövetelményeket!

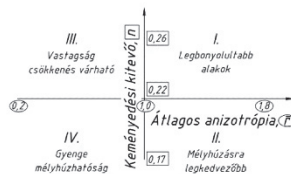
2023. 01. 24.



4. Eredmények - Alakíthatósági mérőszámok eredményei



- A szabvány nem támaszt követelményt sem r átlagra sem pedig delta r-re csak r90-re azt, is csak a magasabb minőségeknél
- DC04 r90 szabványos értéke **1,6**
- F/8 jelű minta r90 értéke **1,42**
- L/35 jelű minta r90 értéke **1,36**
- Bár az r90 értéke enyhén jobb az F/8 mintának, azonban a 0 és 45 fok irányban mért eredményei jobbak az L37-negyik az összehozott alakíthatósága is jobb



adagokénti
folyatólagos

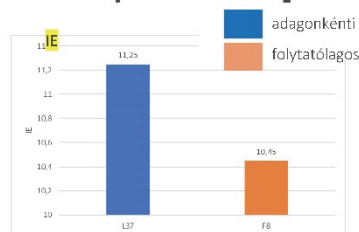
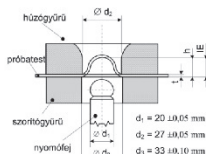
2023. 01. 24.



4. Technológiai vizsgálatok eredményei- Erichsen próba

Erichsen féle mélyítő vizsgálat

- A vizsgálat során egy húzógyűrű és egy szorítógyűrű közé mereven befogott 90x90 mm méretű lemez próbatestet, egy ϕ 27 mm-es félgömbvégeződésű békével a repedés bekövetkezéséig nyújtunk
- A repedés keletkezéséhez tartozó mélyítési érték az ún. Erichsen-féle mélyítési érték (IE)



- A szabványkövetelmények kielégítése ellenére lényeges különbség mutatkozik az alakíthatóságban a két minta között!

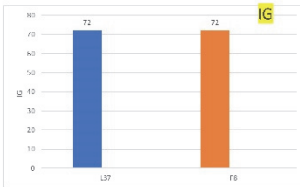
* Kovács Péter Zoltán: Alakítás - határidővizsgálatok és mérések kísérleti eljárási, Viskolci Egyetem, 2012

2023. 01. 24.





4. Technológiai vizsgálatok eredményei- Csészehúzó

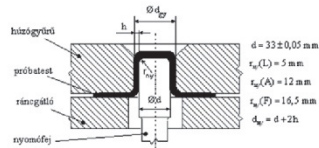


- A csészehúzó vizsgálat eredménye alapján nincs különbség a két minta között!

■ adagonkénti
■ folytatódlogos

Csészehúzó vizsgálat

- A vizsgálat során különböző átmérőjű terítékeket hengeres húzógyűrűn mélyhúznak.
- A vizsgálat mérőszámaként a sikeresen mélyhúzott legnagyobb teríték és a húzóbéllyeg átmérőjének hányadosaként számolható. (LDR/Limit Draw Ratio)



* Kovács Péter Zoltán: Alakítás: határidőnkem a méleti kísérleti elemzése, Viskolci Egyetem, 2012

2023. 01. 24.



5. Összefoglalás

- A DC01 acélmínőségre vonatkozó EN 10130 jelű szabvány csak a szakítószilárdságra, az egyezményes folyáshatárra és a fajlagos nyúlásra fogalmaz meg követelményeket, alakíthatósági mérőszámra viszont nem
- Az alakíthatósági mérőszámok (r , Δr , r átlag) tekintetében lényeges különbség mutatkozik a konvencionális lágyítási mód javára
- A technológiai vizsgálatok közül csak az Erichsen vizsgálat muttatta ki a különbséget a két minta között melynek eredménye összhangban van az alakíthatósági mérőszámok eredményével
- Az alakíthatóság reális megítélésére a szabványban előírt anyagjellemzők ellenőrzésén túl egyéb vizsgálatok is szükségesek a feldolgozás előtt!
- Csak a műbizonylaton visszaigazolt értékek ellenőrzése nem elegendő a feldolgozás előtt!

2023. 01. 24.



Köszönöm a figyelmet!

Az ipari gázok szerepe a biztonságos és hatékony hőkezelési folyamatokban

Demeter Dániel¹, Kokas Péter²

¹ Alkalmazástechnikai mérnök, Linde Gáz Magyarország Zrt.

² Alkalmazástechnikai osztályvezető, Linde Gáz Magyarország Zrt.

1. Bevezetés: A Linde bemutatása

A Linde Gáz Magyarország Zrt. - a Linde Csoport leányvállalataként – mintegy 84 milliárd (2021) forintos forgalmával, több, mint 400 alkalmazottal Magyarország legnagyobb műszaki gázokat előállító és forgalmazó vállalata (piaci részesedés >65%).

A Linde a műszaki gázok, ipari és orvosi gázok, környezetvédelem, gázipari alkalmazások és a K+F területén a termékek széles skáláját kínálja. A Linde műszaki gázai – oxigén, nitrogén, argon (ún. levegő gázok), továbbá széndioxid, hidrogén, acetilén és hegesztési védőgázok, valamint az egyéb nemesgázok, éghető gázok, orvosi gázok, elektronikai gázok, nagytisztaságú gázok, vizsgáló gázok és gázkeverékek – mind jelen vannak az ipar szinte valamennyi területén, de ugyanígy a kutatásban és a gyógyászatban is. A gázok alkalmazási széleskörű, például a hegesztés és termikus vágás területén, a fémkohászatban és a vegyiparban, a gumi- és üveggyártásban, az építőiparban, az elektronikai alkatrészek gyártásánál, az élelmiszeripari eljárásokban, az élelmiszeripari védőgázos csomagolástechnikában, valamint a környezetvédelemben.



1.ábra. Linde telephelyek Magyarországon



2.ábra. Termelés és ellátás

Az ipari gázokat a kohászat különböző területein használják:

- Hőkezelés (inert atmoszférák, cementálás, nitridálás, keményforrasztás stb.)
- Fémkohászat, acél- és vasöntődék
(fémfürdő inertizálás, oxigénos dúsítás, oxigénos égők/lándzsák alkalmazása)
- Elektronika: védőgázos forrasztások, mélyhűtéses tesztelés stb.

A felsorolt alkalmazások segítségével elérhető előnyök: termelékenység növelés, fajlagos energiafelhasználás, termékminőség javulás és környezetterhelés csökkentés.

2. A Hőkezelés és az ipari gázok kapcsolata

A speciális tulajdonságokkal rendelkező fémek limitált elérhetősége, és áraik folyamatos emelkedése, az ipari fejlődés diktálta egyre magasabb minőségi követelmények megkülönböztetett jelentőséggel ruházták fel azokat a hőkezelő eljárásokat, amelyek egy olcsóbb alapanyagból, reprodukálható módon, gazdaságosan képesek az elvárásokat teljesítő tulajdonságokat biztosítani.

A hőkezelés, mint egy termikusan aktivált folyamat a teljes munkadarab, vagy egy része hőmérsékletének időben szándékolt olyan változtatása, amelyet járulékosan fizikai és/vagy vegyi hatás is kísér a kívánt szövetszerkezet és tulajdonságok elérése érdekében. A kívánt vegyi hatás a munkadarab és a kemence atmoszféra közötti reakció, így a Linde számára adott volt a feladat a kemence atmoszféra reprodukálhatóságát, szabályozhatóságát biztosító, biztonságos és hatékony gázellátó rendszerek kidolgozására.

3. A megfelelő gázatmoszféra kiválasztása

Az adott hőkezelési folyamathoz szükséges meghatározni a biztonságos és (költség)hatékony gázellátási módot. Az atmoszféra kialakításához nélkülözhetetlen gázok/vegyi anyagok kiválasztása és azok paramétereinek tisztázását követően. A lehetséges kemence atmoszférák

biztosíthatók helyeben történő előállításal (pl. endogáz generátor, exogáz generátor) vagy szállított gázokkal a 3. ábra szerint.

Composition	Synthetic alternative	Linde Designation
N ₂	N ₂	Nitrogen
	Gaseous supply in cylinder	Nitrogen
	Liquid nitrogen supply	Nitrogen
	Cryogenic on-site supply	CRYOSS®
	PSA on site supply	ADSOSS®
	Membrane on site supply	MEMOSS®
H ₂	H ₂	Hydrogen
Ar	Ar	Argon
He	He	Helium
N ₂ /H ₂	N ₂ + H ₂	HYDROFLEX®
	N ₂ + cracked NH ₃	HYDROFLEX®
Ar/H ₂	Ar + H ₂	HYDROFLEX®
N ₂ /C _n H _m	N ₂ + Natural gas (+ H ₂)	CARBOFLEX®
	N ₂ + C ₃ H ₆ (+ H ₂)	CARBOFLEX®
	N ₂ + C ₃ H ₈ (+ H ₂)	CARBOFLEX®
N ₂ /CO/H ₂	N ₂ + methanol	CARBOFLEX®
	N ₂ + ethanol + water	CARBOFLEX®
	N ₂ + endogas	CARBOFLEX®

3. ábra lehetséges kemence atmoszférák

A földgáz és a villamos energia árának 2021/2022-es drasztikus változása jelentősen emeli a különböző gázgenerátorok üzemeltetési költségeit, de jelentős hatással van a hőkezelésben használatos 'ún.' levegőgázok (N₂, Ar,) és az NH₃ piaci árára is. Ezen hatások miatt szinte minden felhasználónál fókuszba kerül az adott műszaki elvárásoknak megfelelő, ugyanakkor gazdaságosan üzemeltethető atmoszféra megválasztása és/vagy a már meglévő hőkezelési eljárás/gázellátás esetén a lehető legköltséghatékonyabb üzemeltetés. A Linde szakemberei az atmoszféra kiválasztásban, a megfelelő atmoszféra beállításban is támogatást nyújtanak Partnereiknek.

Első feladat az adott hőkezelési folyamathoz, kemencéhez és a hőkezelendő betéthez szükséges atmoszférát biztosító gázok kiválasztása – ehhez nyújt segítséget az 1.táblázat.

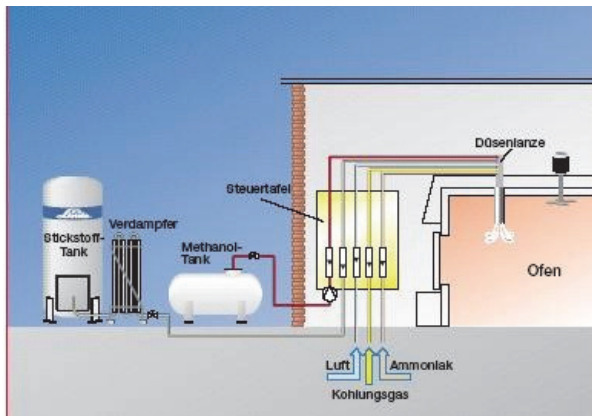
1.táblázat. gázok hatása a hőkezelés során

Active gases				Neutral or inert gases
Reducing	Oxidizing	Carburizing	Decarburizing	
H ₂	H ₂ O	CO	H ₂ O	N ₂
CO	CO ₂	C _n H _m	CO ₂	Ar
	O ₂		O ₂	He

Az alap atmoszféra kiválasztása során meghatározandó az egyes gázösszetevők tisztasága és szennyezőanyag tartalma, nyomása, mennyisége (átfolyása), hőmérséklete. Az előzőekben felsoroltak alapján meghatározható a lehetséges ellátási mód: helyben előállított atmoszféra vagy szállított gázokkal történő ellátás. A gázösszetevők kiválasztásában és az ellátási mód

meghatározásához szükséges gazdaságossági számításhoz a Linde szakemberei segítséget nyújtanak, valamint a szállított gázokkal történő ellátást biztosítják az alábbiak szerint.

Szállított gázokkal történő ellátás esetén a Linde tervező és alkalmazástechnikai mérnökei a komplett gázellátó rendszer (4. ábra) tervezését, engedélyeztetését vállalják a vonatkozó rendeleteteknek és előírásoknak megfelelően legyen szó akár nitrogén, ammónia vagy pl. hidrogén ellátásról.



4.ábra. Linde CARBOTHAN® gázellátó rendszer felépítése

4. Az ipari gázok biztonságos használatának feltételei, veszélyek

Már az ellátási mód megválasztásánál is fontos szempont kell, hogy legyen a szabványoknak megfelelő, biztonságosan üzemeltethető gázellátó rendszer és az annak kialakításához/üzemeltetéséhez szükséges feltételek biztosításának költsége.

Kifejezetten az ipari hőtechnikai berendezésekkel foglalkozik az MSZ-EN 746os szabványcsalád, amely magában foglalja az ipari hőtechnikai berendezések gázellátásával szemben támasztott követelményeket is. pl. Magyar Szabvány MSZ-EN 746-1: 1997+A1; Ipari hőtechnikai berendezések

1. rész: Ipari hőtechnikai berendezések általános követelményei Magyar Szabvány MSZ-EN 746-2; Ipari hőtechnikai berendezések

2.rész: Tüzelő- és tüzelőanyag-ellátó rendszerek biztonsági követelményei Magyar Szabvány MSZ-EN 746-3: 1997+A1 Ipari hőtechnikai berendezések

3.rész: Védő- és aktív gázok előállításának és használatának biztonsági követelményei

A felsorolt szabványokból kiemelve az alábbi alapvető feltételeknek kell felelni, egy hőkezelő folyamat gázellátása során:

Éghető közeg csak abban az esetben engedhető be a kemencébe, ha az alábbi feltételek teljesülnek:

- a Elegendő nitrogén (vagy más inert gáz) rendelkezésre áll a ciklus teljes lefuttatásához (Felhasználó feladata ezt biztosítani), egy backup rendszer fontossága kiemelendő,
- b a nitrogén nyomás megfelelő,
- c a kemence térfogatnyomás folyamatosan megfelelő,
- d a fáklya üzemel,
- e a nitrogén öblítés megtörtént és továbbra is áramlik az üzemi nitrogén a kemencébe,
- f az elszívás üzemel a kemence/fáklyázó fölött,
- g a térhőfok megfelelő,
- h valamint a kemence bontása előtt (még egy az üzemeltető által meghatározott hőmérséklet fölött) meg kell történnie a nitrogénes utóöblítésnek az éghető közegek bejuttatásának zárása után!

Az előzőekben részletezett a folyamat szemszögéből történő megközelítésen túl valamennyi az egyes gázokkal kapcsolatba lépő csőrendszernek/szerelvényeknek alkalmasnak kell lennie az adott közeg szállítására (pl. NH₃ esetén saválló vagy szénacél). Szükséges a manométerek, csőátmérők és reduktorok műszaki paramétereinek összehangolása (pl. nyomásviszonyok, mennyiségek, áteresztőképesség). Az adott közegnek/ nyomásnak megfelelő és a technológiai igényhez mértezett átfolyásmérők telepítése szükséges. A mágnesszelepek tervezése és telepítése során ki kell emelni, hogy a nitrogén öblítő ágon kötelező alaphelyzetben nyitott működésű eszköz használata, valamint éghető közegre megfelelő Ex-s besorolású duplikált mágnesszelep telepítése szükséges gázáganként. Valamennyi gázágra szükséges visszacsapó szelep telepítése, illetve ügyelni kell arra, hogy bizonyos gázok, csak a kemencében keveredhetnek (ilyen pl. karbonitridálás esetén a CO₂ és az NH₃. -> csapadék kiválási és dugulásveszély). Az öblítő ági nitrogén rotaméteren minimum szintérzékelő alkalmazása szükséges - a vezérlés ennek segítségével tudja az öblítés meglétét ellenőrizni, illetve a nitrogén minimum nyomás érzékelő is elengedhetetlen.

Az előzői felsorolásból is látszik, hogy a két legfontosabb teendő a megfelelő öblítés és az éghető gázok biztonságos bejuttatásához szükséges körülmények biztosítása, ezek pontos meghatározásához szükséges tisztázni az egyes fogalmakat.

- a) Inert gáz (az öblítés szempontjából) az a gáz, melynek maximális oxigén tartalma 0,5% (Linde 5.0 nitrogén: <3 ppm oxigén tartalom) Éghető gázok bejuttatása esetén minimum 5szörös kemence térfogatnyi öblítés szükséges a folyamat elején és a ciklus végén is – javasolt az atmoszféra mérés! Cél az 1% alatti oxigén szint elérése ill. a folyamat végén az éghető gázok koncentrációjának az éghetőségi határ 25%-a alá való szorítása.
- b) Éghető gázelegy fogalma: Éghető gázelegy az a gázelegy, amely az adott hőmérsékleten és nyomáson képes éghető elegyet alkotni a levegő oxigéntartalmával. Amennyiben a gázelegy 5%-nál magasabb koncentrációban tartalmaz az alábbi komponensekből éghető gázelegynek tekintendő (H₂+CO+max 1%CH₄).
- c) Öngyulladás hőmérséklet, az a hőmérséklet, ahol az adott anyag a levegő oxigéntartalmával intenzív, önnfenntartó reakcióba lép, mely égésként jelentkezik.

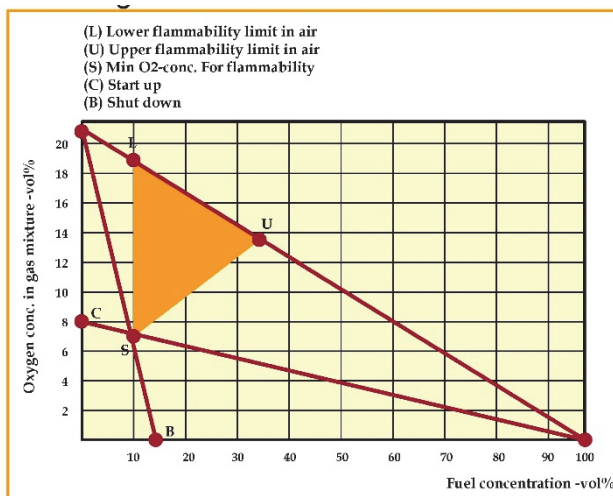
2. táblázat: Az egyes folyamatgázok öngyulladás hőmérséklete és éghetőségi koncentrációja.

Gas	Flammability range in air, %	Autoignition temperature, °C/°F
Hydrogen	4.0–75	560/1040
Carbon monoxide	12–74	620/1148
Methane	4.4–15	595/1103
Ammonia	15–30	630/1166
Methanol	5.5–44	455/851

Az egyes gázok öngyulladás hőmérsékletét figyelembe véve biztonsági határértékként a kemencébe való bejuttatásra vonatkozóan **750°C** került megállapításra pl. metanol/földgáz vagy propán bejuttatása esetén cementáláskor.

Az éghető gázokkal dolgozó kemencék üzemeltetésekor be kell tartani az alábbi öblítési elveket, szemléltetés a 5.ábrán; (a narancssárga színnel jelölt háromszög terület az éghető zóna).

1. A kemence feltöltése inert gázzal a ciklus elején, amíg az oxygen koncentráció a (C) pont alá kerül.
2. Éghető gáz beadagolása: a munkapont a C-S-100%vonalon mozog.
3. Kemence öblítés a ciklus végén, amíg az összetétel a (B) pont alá kerül, ezt követően biztonságos a rakat bontás.



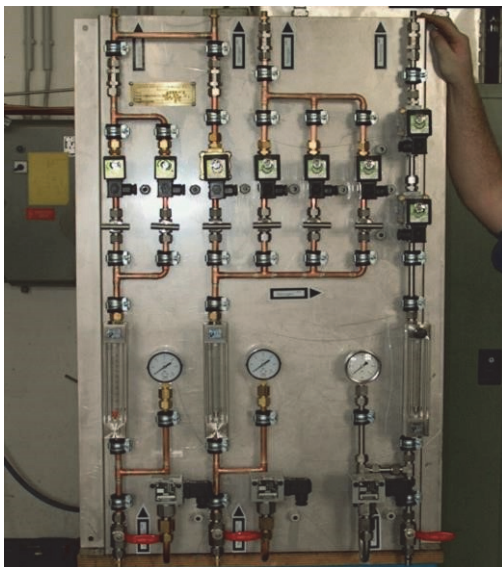
5. ábra. Az éghető zóna meghatározása az atmosféra oxigéntartalmának és éghető anyag tartalmának függvényben/öblítés menete

Összefoglalva, az ipari gázok felhasználása során az üzemeltetőknek az alábbi kockázatokkal kell szembenéznie:

- Tűzveszély,
- Fulladásveszély,
- Fagyásveszély.
- Mérgezés (Toxikus gázok)

5. Az ipari gázok hatékony és gazdaságos használatának feltételei

Amennyiben az adott hőkezelési folyamathoz, kemencéhez és a hőkezelendő betéthez szükséges atmoszférát biztosító gázok kiválasztása és az ellátás biztonságos megvalósítása megoldott, a gázatmoszférában végzett hőkezeléskor a munkadarabok megfelelő felületi szerkezetének kialakulásához elengedhetetlen, hogy a különböző gázkomponensek megfelelő paraméterekkel (mennyiség, nyomás, hőmérséklet, gázok aránya) jussanak a kemencébe. Alapfeltétel a pontos mérés és szabályozás, mely biztosításához igény esetén a Linde az adott feladatra tervezett gázvezérlő táblát telepít.



6. ábra. Linde gázvezérlő tábla

A gázatmoszférák biztosításához a már korábban említett gazdasági hatások miatt fokozottan szükséges az optimális és megfelelő paraméterekkel rendelkező (tisztaság, nyomás, átfolyás, hőmérséklet, több gáz esetén a megfelelő arány) beadagolandó gázmennyiség beállítása. A pontatlan beállítás, vagy a gázparaméterek változása/eltérése miatt a gázösszetevők hibás aránya negatívan befolyásolja a hőkezelés eredményét és jelentős pluszki költség is jár.

Gázfelhasználás optimalizálására / hibafeltárássra használható műszerek és alkalmazási példák:

A gázfelhasználás optimalizálása céljából, vagy amennyiben a pontos beadagolás megoldott, de a kemencében nem jön létre a kívánt paraméterekkel rendelkező atmoszféra (pl. harmatpont, gázok aránya, karbonpotenciál, NH_3 disszociáció, maradék oxigén tartalom) és a hőkezelés során nem valósul meg az elvárt eredmény, a probléma oka és a kívánt atmoszféra kialakulását befolyásoló/gátló tényezők/hibalehetőségek feltárhatók direkt kemence atmoszféra méréssel.

Megnevezés	Típus/Gyártó
Impulzusadó, 50% CO, 10% CH ₄ mérő, digitális	Binos 100 Rosemount, Linde/PSG 1
10% CO, 100% CO mérő, digitális	Binos100 ZM / Rosemount
O ₂ szenzor TypeA-04	Metrotec Type LB
% O ₂ analizátor	Servomex 570A
Gázkezelő	Fisher Rosemount
Gázanalizátor CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ mérésére	PGA 3500
Infra Hőmérő	BETA -50/+1600C
harmatpontmérő	Viasala DM70

- Cementálás, nitrocementálás: T + CO/CO₂ mérés, T + H₂/H₂O mérés, T + CO/O₂ mV mérés.
- Nitridálás, karbonitridálás
- H₂ tartalom mérő segítségével az ammónia disszociáció fok beállítása.
- Általános kemence biztonságtechnika: Oxigéntartalom mérő segítségével a kemence átöblítettségének/maradék oxigén taralmának mérése -> gyakorlati előny az alapvető biztonsági kritériumokon túl: megfelelő öblítés megvalósítása esetén a levegő kizorításával gyorsabban „áll fel” az aktív atmoszféra, ciklusidők rövidülnek, gazdasági előny.
- Hidrogén tartalmú atmoszféráknál: Levegő-beszívárgás ellenőrzése harmat-pont mérésével

A megfelelő atmoszféra kialakulást befolyásoló/módosító további tényezők:

- falazat felvett H₂O és/vagy O₂ tartalma, ■ kemence ventilátor tengelyénél beszívárgó levegő O₂ tartalma,
- „áthúzó” jellegű kemencénél a láncon lévő fém-oxid tartalom, a be- és/vagy kilépő ponton a levegő bejutása a kemencébe,
- „aknás” kemencénél a retorta felvett C tartalma,
- esetleges hűtővíz szivárgás,
- egyéb tömörtelenség,

Tekintettel a korábban már említett 2021/2022-es gazdasági változásokra, a hőkezelő üzemek jövőbeni üzemmenetének egyik alapja a helyesen megválasztott, megfelelő műszaki tartalommal kivitelezett, reprodukálható minőséget biztosító kemence atmoszférát biztosító gázellátó rendszer használata és üzemeltetése. A Linde szakemberei támogatást nyújtanak Partnereiknek az atmoszféra kiválasztásában és a biztonságos atmoszférát biztosító és gazdaságosan üzemeltethető gázellátó rendszer megvalósításban egyaránt.

Irodalomjegyzék:

- [1.] Linde Gas: SPECIAL EDITION FURNACE ATMOSPHERES No. 1 GAS CARBURIZING AND CARBONITRIDING
- [2.] Linde Gas: SPECIAL EDITION FURNACE ATMOSPHERES No. 2 NEUTRAL HARDENING AND ANNEALING
- [3.] Linde Gas, Rolf Andersson - Thorsten Holm - Sören Wiberg - Anders Astrom: SPECIAL EDITION FURNACE ATMOSPHERES No. 4 BRAZING OF METALS

CQi9 követelményrendszer a hőkezelésben

Rácz Gergely

Borsodi Műhely Kft.

CQi9 követelmény rendszere a hőkezelésben



Készítette: Rácz Gergely
Hőkezelő Specialista

BORSODI

Cégbemutató

1961 Alapítás

1992 Egyedi gépalkatrészgyártás megkezdése

1994 Opel hosszútávú partneri viszony kialakítása

1999 Vízszóró gyártóbázis kiindulással

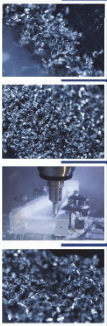
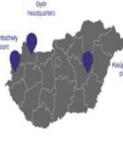
2002 Új telephely a gyári közri parkoló

2004 Szombathelyi telephely átadás

2008 Új beruházás: hőkezelő, anyagvizsgálati laboratórium

2014 Gépezetátvitel: Dr. Kereki László ügyvezető Horvátné Boroski Mária ügyvezető

2016 Szombathelyi üzemszemélyi építés, gyári innovációs szektor



- Olajedzés
- Vákuum edzés
- Cementálás
- Gáz karbon nitrálás
- Oxinitrálás
- Nitrocementálás
- Feszcsökkentés
- Lágyítás
- Megeresztés
- Kiválás keményítés
- Austenizálás
- Mosás





- Van-e helyszínen felhatalmazott és képzett hőkezelő személy?
- Van-e az adott termékre FMEA?
- A hőkezelési szabályozási tervek aktuálisak és tükrözik a jelenlegi gyártást?
- Van a szervezetnek folyamatos fejlesztési terve (CIP)?
- A lárokok mentesek a nem odaillo anyagtól és nem tartalmaznak keverve hőkezelt és nem hőkezelt darabokat?
- A hűtőközeg analízisálva van?
- A hőelemek kalibráltak legyenek.
- A termecében töltött idő, ciklusidő és vá a szallagsebesség megfigyölése.
- Hő kiegyenlítés mör

[illegible]

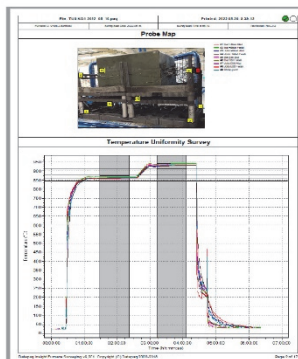
Kemence hő kiegyenlítettség mérés a Borsodi műhely Kft.-nél

DataPAQ rendszer vásárlása

Többszörös kemencék és vákuum kemence TUS

- mérési terv kidolgozása
- folyamat kidolgozása és mérési utasítás készítése 2021-22
- Mérések elvégzése adatok kiértékelése
- A mért eredmények és hődeg vagy meleg pontok termékek paramétereire gyakorolt hatásának vizsgálata

BORSODI



TUS Mérési szolgáltatás felvétele a portfólióba



SAT / TUS MÉRÉS GYŐZDÖN MEG ÖN IS HŐKEZELŐ BERENDEZÉSÉNEK MEGFELELŐ MŰKÖDÉSÉRŐL!

Mi az?

TUS (Temperature Uniformity Survey), azaz: Hőmérséklet Eloszlás Értékelés, melynek kulcs szerepe van a hőkezelő berendezések teljesítményének, bontásállapot és érvényességének bizonyításában.

SAT (System Accuracy Test), azaz: Rendszer Pontosság Vizsgálat, mely segítségével megállapítható a kemence hőmérsékleti szabályozó eszközeinek (valószínű) pontosságát és esetleges eltolódások mértéke.

Kiknek ajánljuk?

Amerikában Ön hőkezelő kemencéket új üzemeltet, esetleg bérbeadásra végez és szeretne egy olyan monitoring leányvállalat kiállítását, mely azt csak bérbeadásra alkalmas bérbeadás érdekében, hanem megkapja az Ön hőkezelő berendezésének való megfelelést is hasznára lenni, akkor kérem mint a fentiekben egyiken.



**CQI-9 szabványnak
való megfelelés**

**Figyelemmel kísérés,
mérés és elemzés**

**Modern eszközök:
DataPAQ DP5
OMEGA HH50GA**

**Több évtizedes
tapasztalat**

**Gyors rendelkezésre
állás**

BORSODI MŰHELY KFT.
9027, Győr, Juhász utca 8.
+36-96/7-529-071

Web:
www.borsodimuhely.hu
E-mail:
sales@borsodimuhely.hu

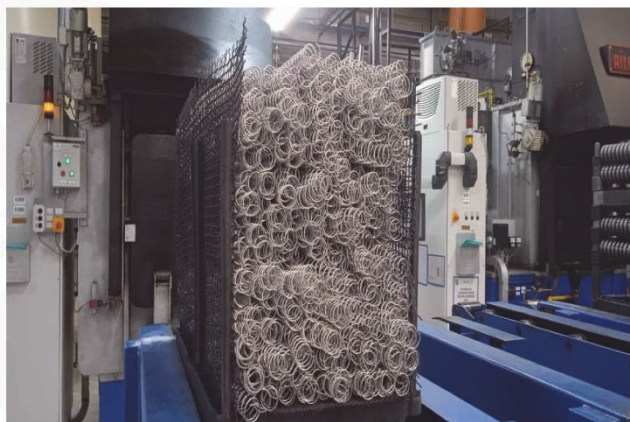


Köszönöm a figyelmet



BORSODI





BORSODI



Feszültségcsökkentő hőkezelés hatása a maradó feszültség állapotra

Sepsi Máté, Al-Hraishawi Hussein, Bubonyi Tamás,
Dr. Barkóczy Péter, Dr. Mertinger Valéria

Miskolci Egyetem

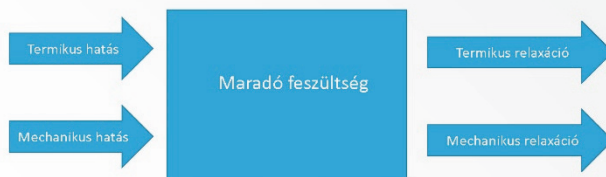


Feszültségcsökkentő hőkezelés hatása a maradó feszültség állapotra

SEPSI MÁTÉ, AL-HRAISHAWI HUSSEIN, BUBONYI TAMÁS,
D-1; BARKÓCZY PÉTER, D-1; MERTINGER VALÉRIA

XXX. HŐKEZELŐ ÉS ANYAGTUDOMÁNY A GÉPÉRTÉKELÉSBEN ORSZÁGOS KONFERENCIA
2022.10.06.

Mechanikus és termikus eredetű maradó feszültség termikus relaxációja



Mechanikus és termikus eredetű maradó feszültség termikus relaxációja

X₅CrNi18 10 (1.4301) ausztenites acél,

- Vasalás
- Edzés (700°C, 0.5 óra, víz hűtés)

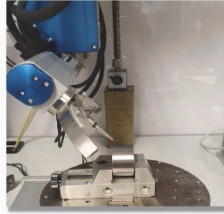
Termikus relaxáció

Hőkezelési ciklus száma	Hőntartási hőmérséklet, °C	Hőntartási idő, óra	Összes hőntartási idő, óra
1.	400	6	6
2.	400	6	12
3.	400	12	24
4.	400	72	96
5.	700	6	

Stresstech G3R

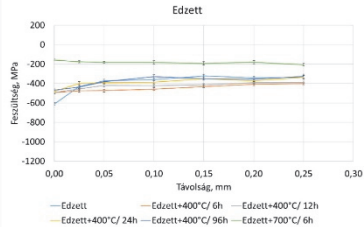
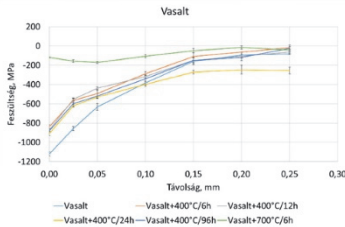
Mélységi feszültség mérés

Kereszt korreláció, parabolikus háttérleválasztás



3

Mechanikus és termikus eredetű maradó feszültség termikus relaxációja



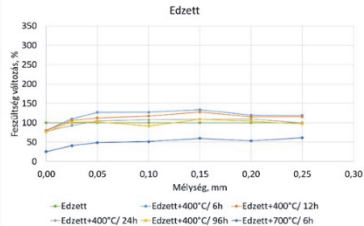
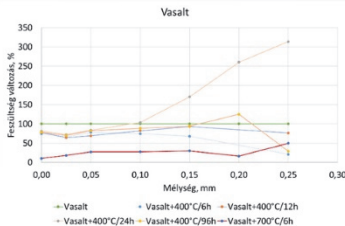
Deformált zóna (képlékeny + rugalmas)

- A vasalásnak a "felületmörítő" hatása, nyomó maradó feszültség, 0,15 mm mélységig

- A termikus gradiensből létrejött rugalmas rácsorzulás okozta nyomó feszültség növekmény csak mintegy fele a vasalás okozta növekménynek és mélységben kifejtett hatása sem nagyobb 0,05 mm-nél.

4

Mechanikus és termikus eredetű maradó feszültség termikus relaxációja

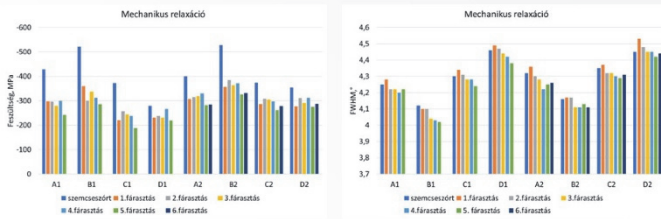


- A relaxáció folyamata biztosan eltér a két féle minta esetében. Vasalt mintánál a hőkezelés hatására valóban relaxálódik a feszültség, edzett minta esetében feszültség átrendeződés történik.
- A 400°C/ 6 óra után relaxál a feszültségek egy része, hosszabb idő nem adnak érdemi változást.
- Jelentős relaxáció csak a 700°C-os/6h hőkezelés esetében következik be, de nincs teljes relaxáció.
- Az edzett darab esetében a felület közeli rétegben csak kb. a 25%-ra, a belső rétegekben pedig 50%-ra csökken le a kiinduló állapot. A mechanikai igénybevétellel létrehozott feszültség relaxációja nagyobb mértékű, a képlékenyen alakított zónában 10-25%-ra csökken, míg a rugalmasan deformált tartomány nem megy 25% alá.

5

Mechanikus eredetű maradó feszültség Mechanikus relaxációja

42CrMo4 minőségű 5x5 mm kvadratikus próbatestek sörétszórást követően kialakult maradó nyomófeszültség relaxációját vizsgálta fárasztás közben.



A maradó nyomó feszültség az első fárasztási ciklusban (kb. 10 000) jelentősen relaxál, az eredeti feszültség kb. 70%-ra, majd az azt követő ciklusokban enyhe csökkenést mutat csak. Ezzel szemben a FWHM értékek sokkal meggyőzőbb csökkenést mutatnak a fárasztás előrehaladtával, ami a másod-harmadrendű feszültségek csökkenésére, a rács hibák csökkenésére utal.

6

Távvezeték sodrony feszültségállapotát jellemző vizsgálati módszer kidolgozása

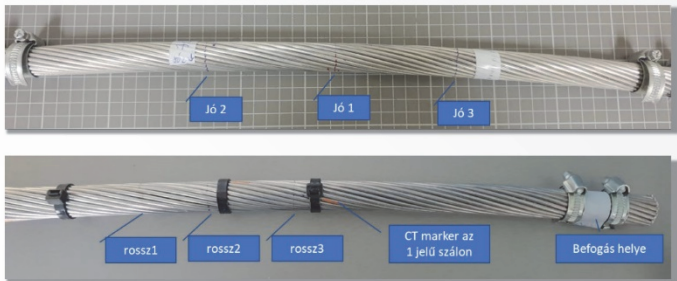
Kooperatív PhD téma



Szerelés vagy a Termék?

7

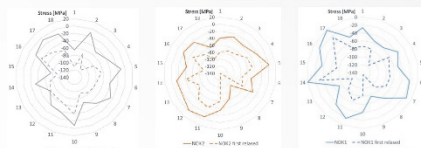
Távvezeték sodrony feszültségállapotát jellemző vizsgálati módszer kidolgozása - Eredmények



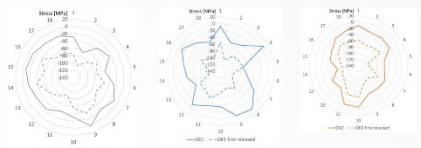
Feszültség relaxáció ↔ Integritás megbomlás

8

Távvezeték sodrony feszültségállapotát jellemző vizsgálati módszer kidolgozása - Eredmények



NOK sodrony



OK sodrony

A felszabadítás hatására bekövetkező elmozdulás nagyobb nyomó feszültséget eredményez

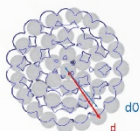
befogáshoz közel

közép

felszabadításhoz közel

9

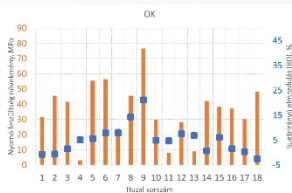
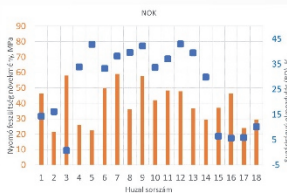
Távvezeték sodrony feszültségállapotát jellemző vizsgálati módszer kidolgozása - Eredmények



$$RD: \frac{d - d_0}{d_0} 100$$

Feszültség növekmény és elmozdulás korrelációja

NINCS

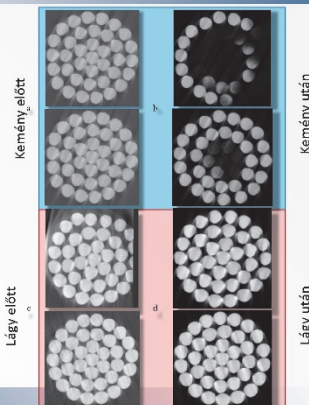


10

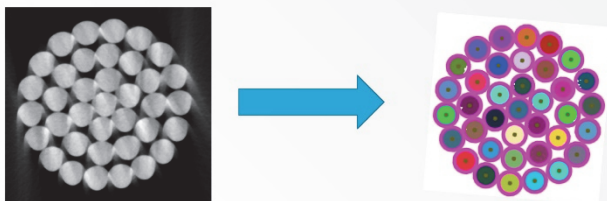
Távvezeték sodrony feszültségállapotát jellemző vizsgálati módszer kidolgozása - Eredmények



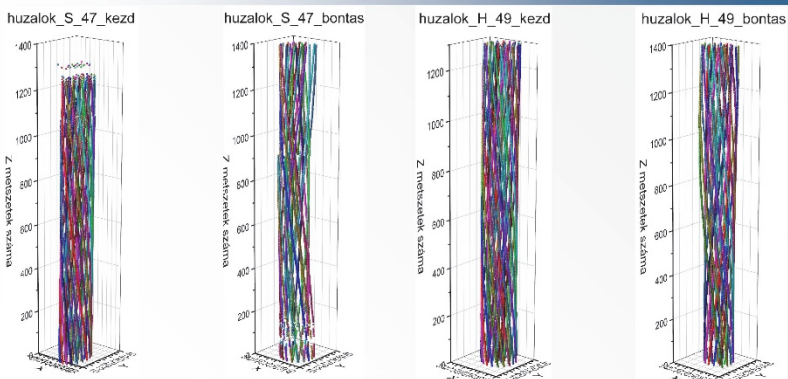
Sodrott (kemény) ↔ lágy/ított
Felszabadítás előtt ↔ után



11

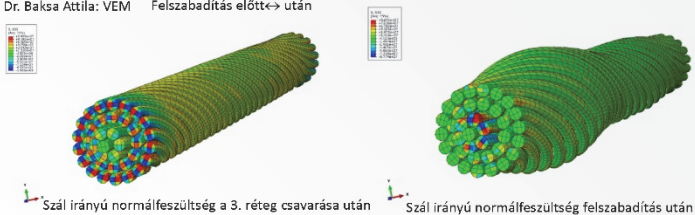


12



13

Dr. Baksa Attila: VEM Felszabadítás előtt<-> után



Sodronyon szakítást követően megjelenő kosarasodás

14

- A feszültség oldó kezelések nem feltétlen jelentik a teljes feszültség relaxációt, sok esetben feszültség átrendeződés történik
- Mind termikusan, mind a mechanikus relaxációs folyamatokra az jellemző, a folyamat elején gyorsan történik a relaxáció, és utána már az idő drasztikus növelésével sem változik
- A különböző eredetű feszültségek relaxációjának folyamata eltérő
- Konkrét gyakorlati eset a vezeték sodratok maradó feszültség problémája
- A röntgendiffrakciós maradó feszültség mérés önmagában nem elegendő, komputer tomográfiával és végeselemes szimulációval kiegészítve egy olyan komplex elemző rendszert dolgoztunk ki ami a sodrat viselkedését előrejelezni képes

15

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Köszönetet mondok:

- Dr. Varga Gyulának az ausztenites acél tengelyek rendelkezésre bocsátásáért

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM KÖÖPERATÍV DOKTORI PROGRAM DOKTORI HALLGATÓI
ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT
SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

16

Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

Rutscher András, Kiri Alexandra, Dr. Weltsch Zoltán

Neumann János Egyetem



MŰSZAKI ÉS INFORMATIKAI KAR



INNOVATÍV JÁRMŰVEK ÉS
ANYAGOK TANSZÉK



NEUMANN JÁNOS
EGYETEM

Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

RUTSCHER ANDRÁS, KIRI ALEXANDRA, WELTSCH ZOLTÁN

WELTSCH.ZOLTAN@GAMF.UNI-NEUMANN.HU

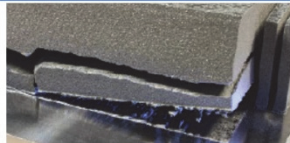
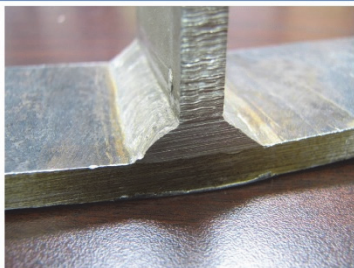


2022.

www.IJAT.hu



Maradó feszültség megjelenési formái

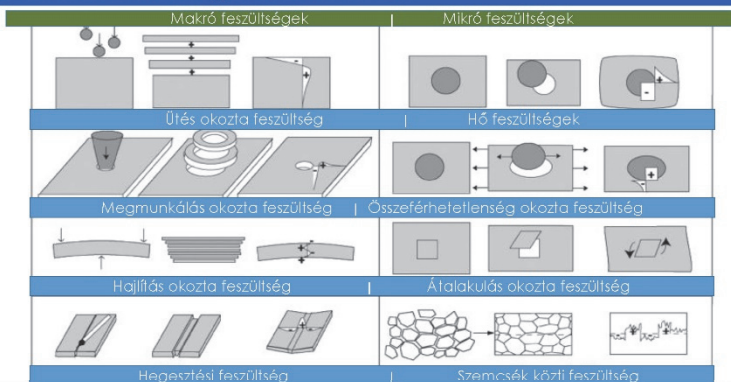


Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 2

2023. 01. 31.

Maradó feszültség keletkezése



Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 3

2023. 01. 31.

Feszültség csökkentő eljárások

- Pihentetés
- Termikus eljárások
 - Kriogén kezelés
 - Újra kristályosító ízzítás stb.
- Feszültség kiegyenlítő eljárások
 - Pl.: Sörézés (shoot peening)
- Vibrációs feszültség csökkentő eljárások
 - Hagyományos vibráció elvén
 - Ultrahangos vibráció elvén

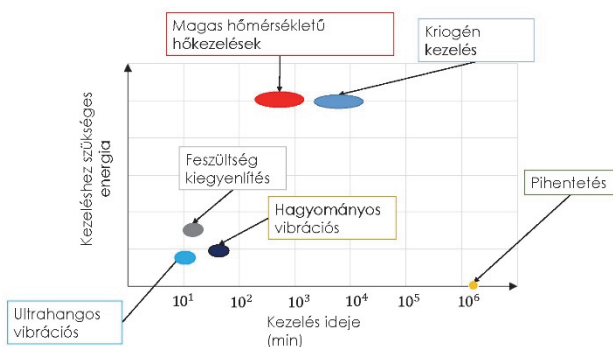


Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 4

2023. 01. 31.

Feszültség csökkentő eljárások energia felhasználás szerint



Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 5

2023. 01. 31.

Vibrációban van elég energia?

- Tacoma Narrows híd 1940
- Repülőgép szárny
- Katonák menetelése

Rezonanciakatasztrófa

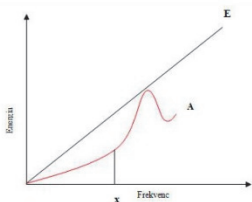


Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

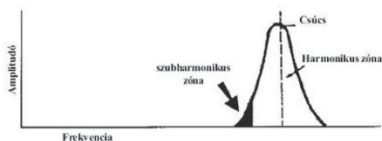
/ 6

2023. 01. 31.

Vibrációs energiaállapot módosulás



Betáplált energia elnyelődik, ezzel a belső energia változik



Forrás: Auria M.Kft



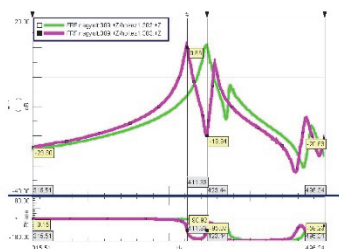
Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 7

2023. 01. 31.

Rázatásos kísérletek

- Rázatási frekvencia
 - Kis
 - Közepes
 - Nagy
- Rázás 15 percig 35-70 g gyorsulással
- Sajátfrekvenciák változása: 423 Hz > 411 Hz (-2,8 %)



Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

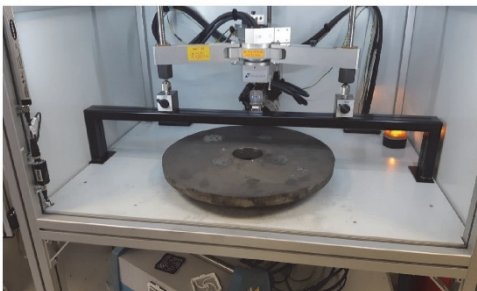
/ 8

2023. 01. 31.

Rázatás eredményének validálása



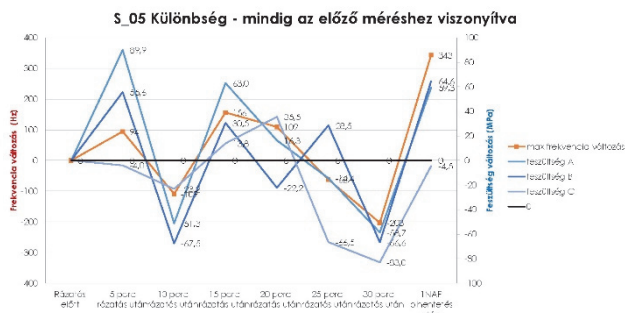
Lemezgarítós öntött tárcsa



Xstress 3000 G2/G2R



Belső feszültség - sajátfrekvencia kapcsolata



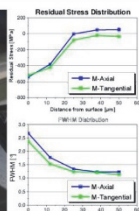
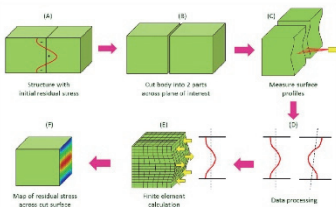
Felmerült kérdések

- Milyen frekvencián rázzuk?
- Mennyi ideig rázzuk?
- Sikeres volt a kezelés?
- Diagnosztika szükségessége
- Hogyan tudjuk ipari körülmények között mérni a belső feszültséget?



Belső feszültség meghatározása

Röntgendiffrakcióval



Alakváltozással

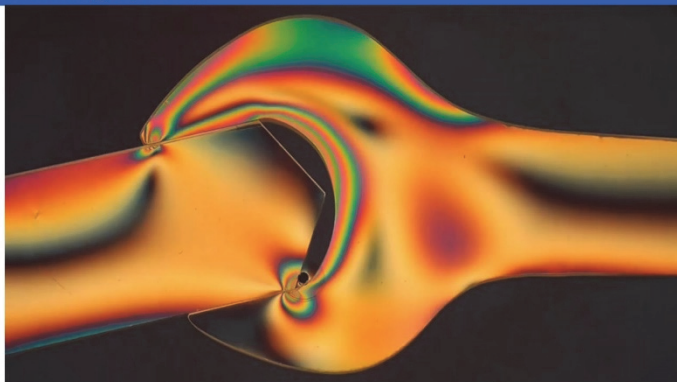


Welsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 12

2023. 01. 31.

Feszültségoptika

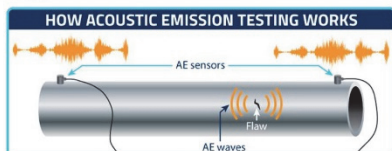
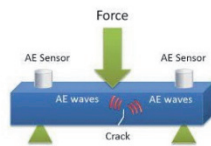
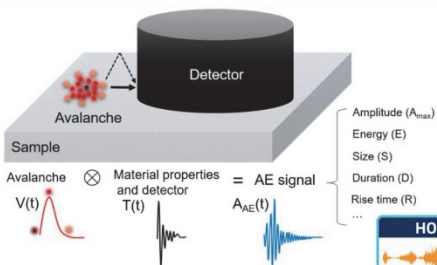


Welsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 13

2023. 01. 31.

Akusztikus emisszió

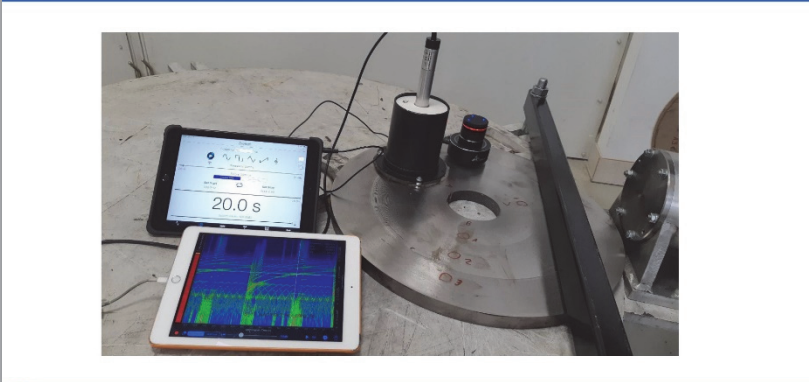


Welsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

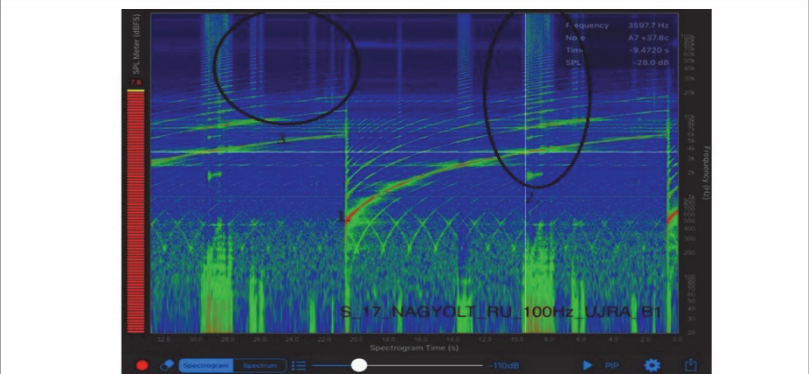
/ 14

2023. 01. 31.

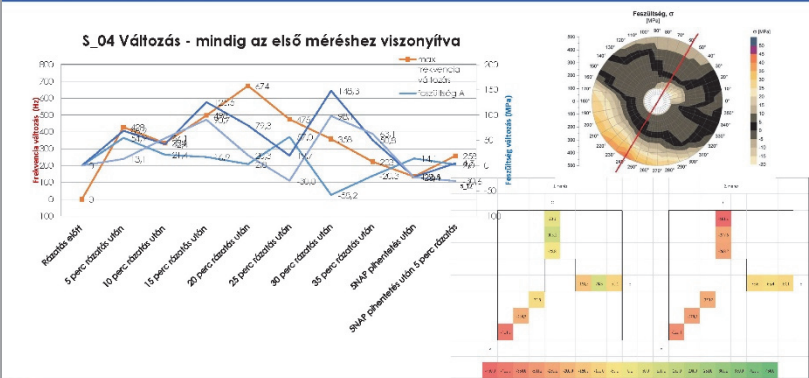
Saját fejlesztésű diagnosztikai rendszer



Diagnosztika mérési képe



Feszültségtérkép



Összefoglalás

- Vasúti forgóváz
- Nagyméretű szerszámok
- Precíziós öntvények
- 3D nyomtatott alkatrészek
- Energiaárak
- Időmegtakarítás
- Korszerű diagnosztika



Weltsch Zoltán – Maradó feszültség meghatározása és csökkentése vibrációs módon

/ 18

2023. 01. 31.



NEUMANN JÁNOS EGYETEM

GAMF MŰSZAKI ÉS INFORMATIKAI KAR

INNOVATÍV JÁRMŰVEK ÉS ANYAGOK TANSZÉK

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET

RUTSCHER ANDRÁS, KIRI ALEXANDRA, WELTSCH ZOLTÁN

KAPCSOLAT:

WELTSCH.ZOLTAN@GAMF.UNI-NEUMANN.HU



2022.

www.IJAT.hu

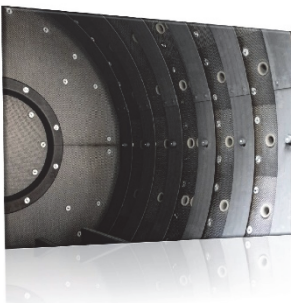


Korszerű vákuumhőkezelési technológiák és berendezések bevezetése a FLANSCH-TECH Kft.-nél

Varga Zsolt, Újhelyi Milán

Flansch-Tech Kft.

BALATONFÜRED, 2022.10.06



FLANSCH-TECH KFT.

KORSZERŰ VÁKUUMHŐKEZELÉSI TECHNOLÓGIÁK ÉS
BERENDEZÉSEK BEVEZETÉSE A FLANSCH-TECH KFT.-NÉL

BALATONFÜRED, 2022.10.06

CÉGTÖRTÉNET

■ Az elmúlt majd 30 év madártávlatból



Év	Esemény
1994	Acélkereskedelem
2006	szélesfémvári alumínium kovácsozom
2007	csoepeli szilícizációs kovácsozom
2014	érdi szilícizációs kovácsozom
2016	zálegetszegő kovácsozom
2020	érdi vákuumhőkezelő üzem

CÉGTÖRTÉNET

■ Acélkereskedelem

- Az acélkereskedelmi részleg 6000-7000 tonna melegen hengerelt köracél és buga található 10.000 m² alapterületen.
- Szelvénytípusok: Ø16-Ø340 mm
- 100%-ban melegen hengerelt köracél.



KOVÁCSATI TERMÉK-
ÉS SZERSZÁMGYÁRTÓ
KÖZHASZNÚVÁLLALKOZÓ
KFT.

CÉGTÖRTÉNET

■ Kovácsolás

- **Csepel, Érd** - súlyszétkészés kovácsolás *Maxima* excenter présekkel - 1000, 1500, 2500 to
Gyártható terméksúly: 0,5- 12 Kg
- **Székesfehérvár** – zártüreges kovácsolás csavaros *Weingarten, Hasenclever* présekkel – 250, 400, 700, 1250 to
Gyártható terméksúly: 0,05 - 15 kg
- **Zalaegerszeg** – ellenűtő *DEK* kalapácsok, szabadalakító légkalapácsok.
Gyártható terméksúly: 0,3- 25Kg



KOVÁCSATI TERMÉK-
ÉS SZERSZÁMGYÁRTÓ
KÖZHASZNÚVÁLLALKOZÓ
KFT.

CÉGTÖRTÉNET

■ Megmunkálás

- **Csepel** - szerszámgyártás
- **Érd** – Kovácsolt termék megmunkálás



KOVÁCSATI TERMÉK-
ÉS SZERSZÁMGYÁRTÓ
KÖZHASZNÚVÁLLALKOZÓ
KFT.

HŐKEZELÉS

- Az elmúlt 12 év a hőkezelésben

csepelei kovácsüzemi hőkezelő sor



2010



2021

érdi vákuumhőkezelő első ütem

érdi vákuumhőkezelő második ütem



2022

FLANSCH TECH

HŐHÁZATI TERNÉK-
ES SZERELVÉNY-
KEZELÉSEK KFT.

HŐKEZELÉS

- Hőkezelő berendezéseink:

Seco/Warwick VP15-9912:

- Hasznos kamraméret: 900x900x1200mm
- Max. bruttó adagsúly: 1500 kg
- Max. felfűtési hőmérséklet: 1300°C
- Maximális hűtési nyomás: 15 bar, speciális állítható 30 fokos cirkulációval.



FLANSCH TECH

HŐHÁZATI TERNÉK-
ES SZERELVÉNY-
KEZELÉSEK KFT.

HŐKEZELÉS

- Hőkezelő berendezéseink:

Seco/Warwick VTR 60.60.90. megeresztő kemence:

- Hasznos kamraméret: 600x600x900mm
- Max. bruttó adagsúly: 600 kg
- Max. felfűtési hőmérséklet: 750°C
- Vákuumozható, Nitrogén védőgázos kemence

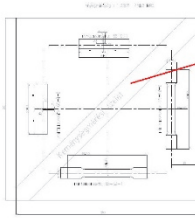


FLANSCH TECH

HŐHÁZATI TERNÉK-
ES SZERELVÉNY-
KEZELÉSEK KFT.

HŐKEZELÉS

■ Tesztelés:



WN: 1.2365 anyagminőségű tömbből kímunkált próbadarabok mintavételi helyei



Mérés sor szám	Keménység [HRC]
1	45
2	47
3	47
4	45
5	46
6	46
7	47
8	47
9	47
10	47
11	45
12	46
13	46
14	46
15	45

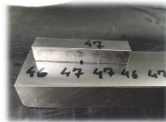
A HRC mérési helyek és eredmények a 1.2365 mintán

HŐKEZELÉS

■ Tesztelés:

Ütő – és szakítópróba:

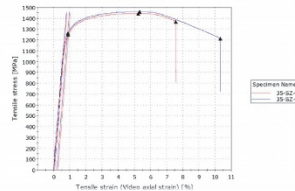
Minta	Ötönmunka [Bpm]	Ötönmunka [B]
1.2365-U-1	0,6	5,9
1.2365-U-2	2	19,6



A kímunkált ütő próbatest és eredményei az 1.2365 -ös mintán

Specimen label	Videó axial stress space length [mm]	Diameter [mm]	Notched Tensile force at Yield (Offset 0.2) [kN]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2) [MPa]	Maximum Tensile stress [MPa]	Tensile strain (Video axial strain) at break (Standard) [%]
1 35-S2-1	29,32	8,06	180	1350	1443	7,6
2 35-S2-2	28,60	8,06	185	1360	1461	10,2

Specimen 1 to 2

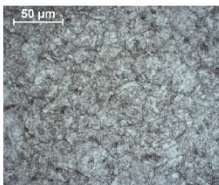


A 35-S2-1 és a 35-S2-2 minták szakító diagramja

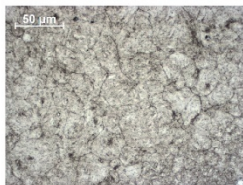
HŐKEZELÉS

■ Tesztelés:

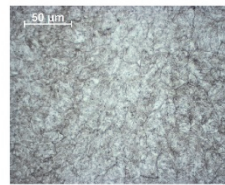
Szövetvizsgálat céljára a keménységmérés után a mintát a könnyebb kezelhetőség végett 5 db-ra vágták (A-E)



Az A mintáról készített fénymikroszkópi felvétel M=500



A C mintáról készített fénymikroszkópi felvétel M=500

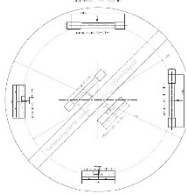


A D mintáról készített fénymikroszkópi felvétel M=500

A különböző helyeken a szövetben jelentős eltérés látható, mindenhol megeresztett martenzitből áll a vizsgált minta.

HŐKEZELÉS

■ Tesztelés:



WNr. 1.2714 anyagminőségű tömbből kimunkált próbadarabok mintavételi helyei

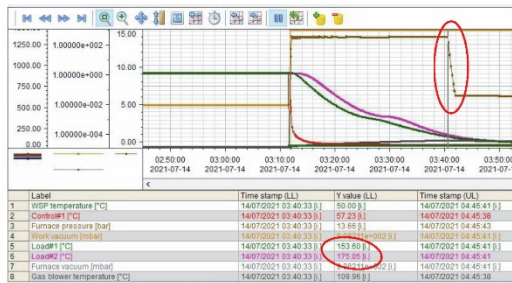


Mérés sor szám	Keménység [HRC]
1	43
2	43
3	44
4	43
5	45
6	43
7	45
8	43
9	45
10	43
11	43
12	43
13	44
14	45

A HRC mérési helyek és eredmények a 1.2714 mintán

HŐKEZELÉS

■ Tesztelés: Ø 353 mm-es WNr. 1.2714 (NK2) szerszámacél edzése.



HŐKEZELÉS

■ Tesztelés:

Nagyméretű WNr. 1.2714 (NK2) szerszámacél edzése.

Hőkezelési paraméterek:

- Edzés 900 °C –ról 15 bár hűtési nyomással 50 °C-ig
- Kétszeri megereztesztés
 - 580 °C
 - 550 °C



Mintavételi hely

Ø353x500 mm befoglaló méretű szerszámtömbök
– summa 385 kg

HŐKEZELÉS

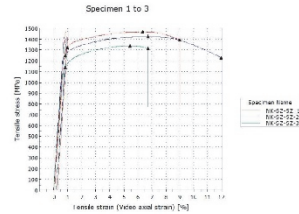
■ Tesztelés:

Ütő – és szakítópróba:

Minta	Ütőenergia [J/m]	Ütőenergia [J]
NK-SZ-1	1,2	11,8
NK-SZ-2	1,8	17,6
NK-BU-1	1,0	9,8

A hajlító ütő vizsgálatok eredményei az 1.2714-es mintán

Specimen label	Diameter [mm]	Tensile stress at Yield (CP02 0.2 %)	Maximum Tensile stress	Tensile strain (Yield axial strain at CP02 0.2 %)
NK-SZ-1	8.82	1.175	1.480	19
NK-SZ-2	8.80	1.149	1.512	17
NK-SZ-3	8.82	1.137	1.516	16.7

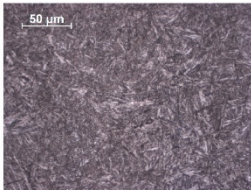


WNr. 1.2714 anyagminőségű minták szakító diagramja

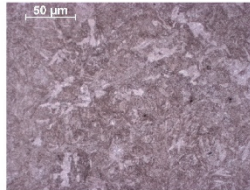
HŐKEZELÉS

■ Tesztelés:

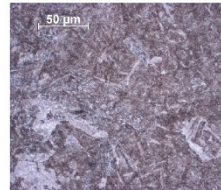
Szövetvizsgálat céljára a keménységmérés után a mintát a könnyebb kezelhetőség végett 6 db-ra vágták (A-F)



Az A mintáról készített fénymikroszkópi felvétel M=500



A-C mintáról készített fénymikroszkópi felvétel M=500



A-D mintáról készített fénymikroszkópi felvétel M=500

Megállapítható, hogy a mintának enyhén soros a szövete, aminek következtében a darab középső régiójában (C-D minták) a megerezsett martenzit mellett kis mennyiségű bainit is megtalálható.

HŐKEZELÉS

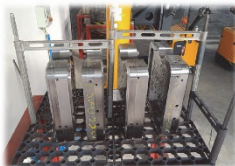
■ Konklúzió:

WNr. 1.2365 –ös megalakító szerszámacél esetében:

- A különböző helyeken a szövetben jelentős eltérés nem látható, mindenhol megerezsett martenzitből áll a vizsgált minta,
- homogén keménység teljes keresztmetszetben és közel azonos szakítódiagram mindkét próbatest esetében.

WNr. 1.2714 –es megalakító szerszámacél esetében:

- Megállapítható, hogy a mintának enyhén soros a szövete, aminek következtében a darab középső régiójában (C-D minták) a megerezsett martenzit mellett kis mennyiségű bainit is megtalálható,
- homogén keményséeloszlás teljes keresztmetszetbe,
- belső szakítómintá eredménye 130 Mpa – al alacsonyabb volt a szélső minták értékeihez képest,
- a csökkentett hűtés sebesség szívósságvesztést eredményez,
- a hőkezelt minta két feléből süllyeszték szerszám készült, mely tartóssága megfelelő volt.



KÖSZÖNJÜK MEGTISZTELŐ FIGYELMÜKET!



A PVD bevonatok különleges felhasználási területei

Fazekas Péter

TS Magyarország Kft.



member of HEF Group

A PVD bevonatok különleges felhasználási területei

FÁZEKAS PÉTER
okt. vegyészmérnök
Ügyvezető
TS MAGYARORSZÁG KFT.

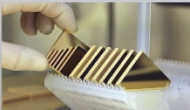
Balatonfüred 2022.10.06.



member of HEF Group

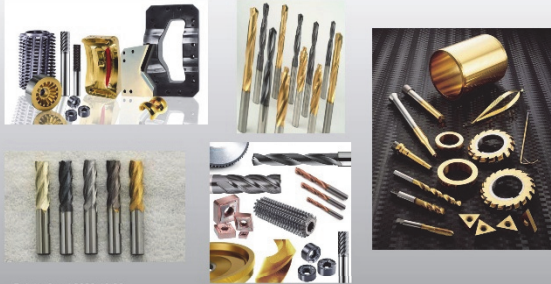
PVD ≡ Physical Vapour Deposition (Fizikai gőzfázisú bevonás)

- a **bevonó anyagot** (leendő bevonat komponenseit) **fizikai módszerekkel** (párolgatással, porlasztással) **szilárd állapotból gőzfázisba viszik** és a munkadarab **felületére csapatják**.
- a kezelés **vákuumban történik**
- a **bevonat és az alapfém között adhéziós kötés** jön létre.
- átlagosan 2,5µm-8µm vastag 1500-8000HV keménységű bevonat jön létre.



Balatonfüred 2022.10.06.

PVD bevonat különleges felhasználási területei
ismertebb felhasználás: Forgácsolószerszámok
Ami számít: Keménység, tartósság, szerszámelettartam



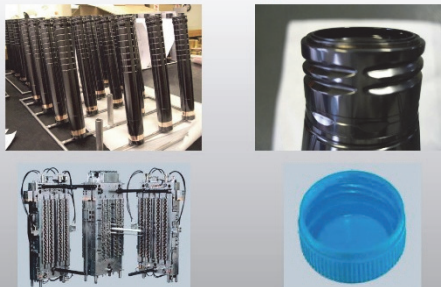
Dalatonfűred 2022. 10. 06.

PVD bevonat különleges felhasználási területei
ismertebb felhasználás: Alakítószerszámok
Ami számít: Keménység, tartósság, szerszámelettartam



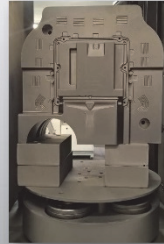
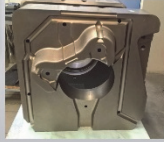
Dalatonfűred 2022. 10. 06.

PVD bevonat különleges felhasználási területei
ismertebb felhasználás: Műanyag fröccsöntő szerszámok
Ami számít: Keménység, tartósság, szerszámelettartam



Dalatonfűred 2022. 10. 06.

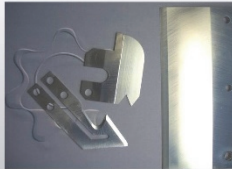
PVD bevonat különleges felhasználási területei
ismertebb felhasználás: Al nyomásos öntőszerszámok
Ami számít: Keménység, tartósság, szerszámelettartam



Balatonfűred 2022.10.06.

6

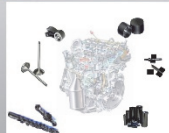
PVD bevonat különleges felhasználási területei
ismertebb felhasználás: Ipari kések
Ami számít: Keménység, tartósság, szerszámelettartam



Balatonfűred 2022.10.06.

7

Certess DLC autóipari
felhasználási lehetőségei



Balatonfűred 2022.10.06.

8

Certess DLC autóipari felhasználási lehetőségei



Balatonfűred 2022.10.06.

9



Balatonfűred 2022.10.06.

10

Certess DLC® bevonatolt Tablettázó szerszámok



Balatonfűred 2022.10.06.

11

PVD bevonat autóipari tuning alkatrészek



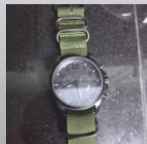
PVD CHROME WHEEL COATINGS



Balatonfűrés 2022 10.06

12

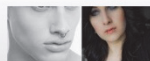
DLC, bevonatolt óraipari alkatrészek



Balatonfűrés 2022 10.06

13

PVD bevonatolt ékszerek, ajándéktárgyak



Balatonfűrés 2022 10.06

14

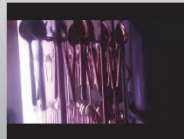
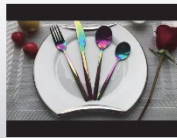
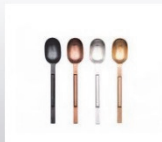
PVD bevonatolt étkészletek



Balatonfűred 2022. 10. 06.

10

PVD bevonatolt étkészletek



Árak: 0,5 USD/db - 7 USD/db

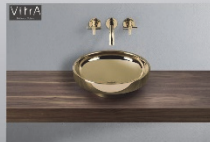
Balatonfűred 2022. 10. 06.

10



Balatonfűred 2022. 10. 06.

PVD bevonatolt csaptelepek



Balatonfured 2022.10.06

15



Balatonfured 2022.10.06

16

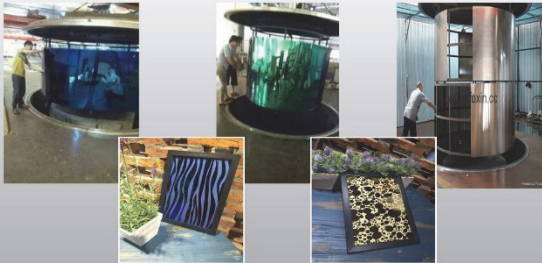
PVD bevonatolt építészeti elemek, épülethomlokzati elemek



Balatonfured 2022.10.06

17

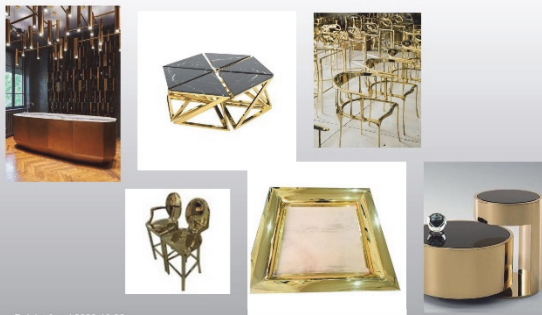
PVD bevonatolt építészeti elemek, épülethomlokzati elemek



Balatonfüred 2022. 10. 06.

21

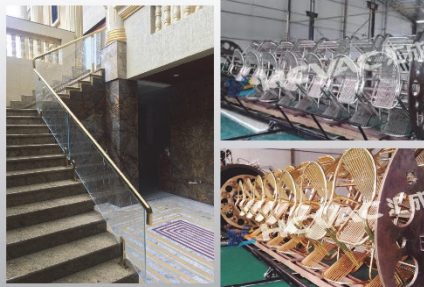
PVD bevonatolt bútorok



Balatonfüred 2022. 10. 06.

22

PVD bevonatolt bútorok



Előtte

Utána

Balatonfüred 2022. 10. 06.

23

Certess® esztétikai bevonatolt műanyag alkatrészek (H.E.F. grup)



Balatonfüred 2022.10.06

24

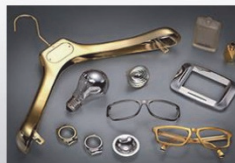
PVD bevonat autóiipari alumínium és műanyag alkatrészekon



Balatonfüred 2022.10.06

25

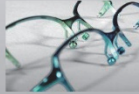
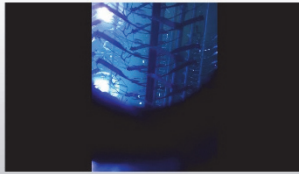
Esztétikai PVD bevonatolható műanyag és üveg alkatrészek



Balatonfüred 2022.10.06

26

PVD bevonatolt szemüvegkeretek



Balatonfűrésd 2022. 10. 06.

27

PVD bevonatolt csavar, hangszer



Balatonfűrésd 2022. 10. 06.

28

PVD bevonat fegyveripari alkalmazásai



Balatonfűrésd 2022. 10. 06.

29

CERTESS® bevonat fegyveripari alkalmazásai



Balatonfűred 2022. 10. 06.

30

DLC kerékpár alkatrészek



Balatonfűred 2022. 10. 06.

Certess DDT és DLC bevonatolt kerékpár alkatrészek



Balatonfűred 2022. 10. 06.

32

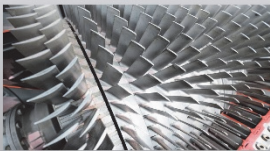
PVD bevonatolt golfütők (sportszeripari felhasználás)



Dalatonfűred 2022.10.06



Gáz turbinák: korrózió védelem, hőszigetelés, a speciális furatkiképzés mellett bevonatok is védenek, szendvics szerkezetű bevonatok elsősorban Al oxid alapú, pl: Repülőgépek hatómű lapátjai



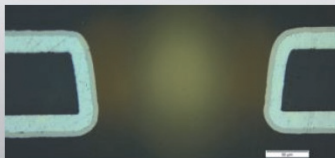
Dalatonfűred 2022.10.06

Gőz turbinák: védelem a korrózió és a kavitáció ellen pl: atomerőművekben CrN+TiN bevonatok 20µm vastagon



24

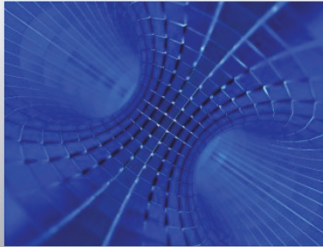
CERN detektor: PVD eljárással előállított vékony réteg.
Célja a kívülről érkező sub- atomikus részecskék árnyékolás a pontosabb mérés érdekében



Dalatonfűred 2022.10.06

25

A mágneseken W és Mo alapú PVD bevonat van a könnyebb levákuumozás érdekében.

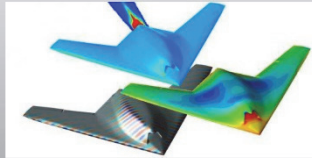


Balatonfűred 2022.10.06.

36

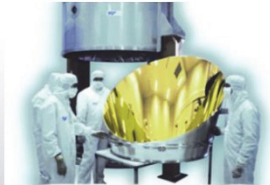


Új kompozit anyagok a repülőgépiparban.
Probléma a statikus feltöltődés, megoldás a PVD bevonatolás. Ennek hatására csökken az elektronikus zaj és az esetleges villámcsapást is elvezeti.

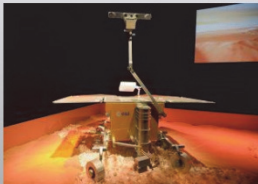
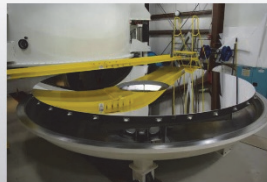


Balatonfűred 2022.10.06.

37



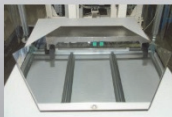
Vékony arany bevonat a hűtő tükrön aminek célja hővégelem.



Az ESA Mars expedíciója során a mars járó szeizmikus antennája is TiN-el volt bevonva aminek a célja az antenna védelme.

Balatonfűred 2022.10.06.

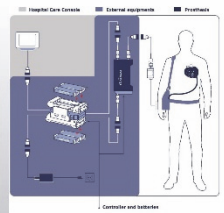
38



Balatonfured 2022. 10. 06

A Cherenkov antenna a kozmosz különböző sugárzásait gyűjti össze. Messzebb lát az időben mint a hagyományos teleszkópok. Több földi telepítésű antenna figyeli az égbolt ugyanazon részét. A hatásfok növelése érdekében AI bevonat van a tükrökön.

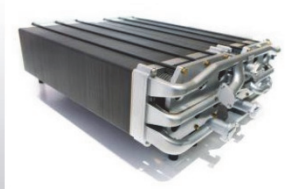
39



A Carmat cég által gyártott műszív. Transzplantáció előtt, nem ültetik be a beteg szervezetébe. A billentyűket helyettesítő membránokon egy szövetbarát, PVD bevonat van. A bevonatnak köszönhetően nincs immunreakció és ezért gyulladás.

Balatonfured 2022. 10. 06

40

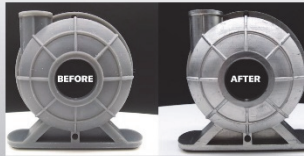
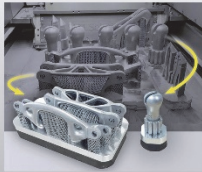


Az üzemanyagcellák fő alaphibája az elektródák korróziója. Ezért a Bipoláris lemez egy nano-karbon alapú PVD alapú bevonatot kap ami nem a DLC. A cél a korrózióvédelem a rendszer vezetőképességének megtartása és az arany használatának kiváltása.

Balatonfured 2022. 10. 06

41

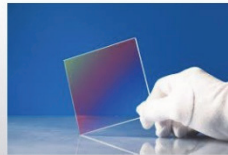
Mind a fém mind a műanyag alanyanyagból készült 3D nyomtatott alkatrészek PVD bevonathatóak. Elsődleges cél az élettartam és a funkcionalitás növelése.



Műgyantából nyomtatott szivattyúház, amin 5 µm TiN van. Kémiai ellenállás, kopásállóság, élettartam növelése.

Balatonfűred 2022.10.06.

42



PVD bevonat építőipari siküvegen: Bevonat Titán és Ezüst alapú a bevonatolás célja, hogy a szennyeződés kevésbé tapad a felületre egyszerűbb a takarítása, UV szűrő komplex réteg része.

Balatonfűred 2022.10.06.

43

PVD bevonattal a napelemek fotovoltaikus rendszer része felhordható.

APPLICATION

SPUTTERING TARGET APPLICATION RANGE

Flat Panel Display Coating sputtering target
Tools and Decoration sputtering target
Architectural/Auto Glass sputtering target
Optical Data/Magnetic Data Storage sputtering target
Optical Communications/Optical Industry sputtering target
Solar PV and Solar Heating sputtering target

Balatonfűred 2022.10.06.

44

**KÖSZÖNÖM MEGTISZTELŐ
FIGYELMÜKET!**

TS Magyarország KFT.
1164. Budapest
Csókakő út 35.

FAZEKAS PÉTER
okl. vegyészmérnök
Ügyvezető

MoSN, egy új szilárd kenőanyag előállítás PVD technológiával

Kaushik Hebbar Kannur¹, Széll Attila²

¹ IREIS, HEF Group, Andrézieux-Bouthéon, Franciaország

² Techniques Surfaces Magyarország Kft., Budapest

Absztrakt

Jelen munka egy száraz környezetre optimalizált száraz kenőanyag fejlesztését mutatja be. A jól ismert molibdén-diszulfid szilárd kenőanyag nitrogénnel dópolt verzióját PVD technológiával állítottuk elő, másodlagos plazmaforrással kombinált magnetronos porlasztással. A kísérletek során sikerült előállítani egy jobb tapadású, nagyobb teherbírású, alacsonyabb súrlódási tényezőjű és jobb kopásállóságú bevonatot, mint a szokásos molibdén-diszulfid bevonatok. Az így előállított bevonat nagyjából egyenlő arányban tartalmaz molibdént, ként és nitrogént. A jól tapadó MoN réteget is tartalmazó bevonat felső, funkcionális rétege amorf szerkezetű Mo-S-N tartalmú

szilárd kenőanyag réteg. A tribológia vizsgálataink alapján a Mo-S-N bevonat száraz kenőanyagként jó alternatívája a MoS₂ bevonatoknak. A kialakított bevonat legjobban vákuumban, száraz környezetben felel meg az elvárásoknak. A MoSN/MoS₂ bevonatok tipikus alkalmazási területei a következők:

- a világűrben üzemelő berendezések súrlódó alkatrészei
- speciálisan vákuumban üzemelő berendezések súrlódó alkatrészei, ahol a levegő expozíciója nélküli a felhasználás.

Kulcsszavak: szilárd kenőanyag, molibdén-diszulfid, PVD bevonat, magnetronos porlasztás, Mo-S-N bevonat.

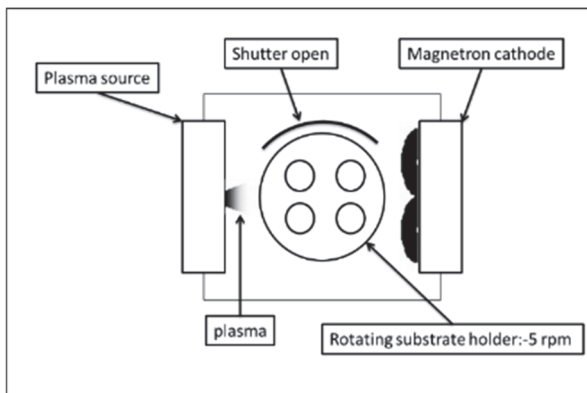
Bevezetés

Az átmenetifém-dihalogenid bevonatok (például a MoS₂) alacsony súrlódásúak, jellegzetesen kis nyírószilárdságuk miatt a lamellás kristályszerkezet alapsíkja mentén. Ez az anyag azonban könnyen leválhat a hámlás és a fémes felületekhez való gyenge tapadás következtében. Ezenkívül alacsony teherbíró képessége nagy kopáshoz és magas súrlódási együtthatóhoz (COF) vezet. Mindezek a problémák megnehezítik ezen bevonatok felhasználását a száraz vagy szilárd kenésre szánt alkalmazások széles körében. A száraz környezet többek között azt jelenti, hogy közel zérus a páratartalom (<1%). Alapvetően nincs a tribológiai rendszerünkben víz, pára, és/vagy bármilyen olaj, ami megkönnyítené a kenést. A kenés ilyen környezetben kihívást jelent.

A fizikai gőzfázisú leválasztás (PVD) új betekintést nyújtott a tribológia és a kenés területébe, az alkalmazási követelményeknek megfelelően testreszabott vékony filmszerű bevonatok felvitelének lehetőségével. Jelen munka egyenáramú (DC) magnetronos porlasztású Mo-S-N bevonatok fejlesztésére és optimalizálására irányul, alacsony súrlódású alkalmazásokhoz, különösen úralkatrészekhez. Cél az szubsztráthoz erősen tapadó, nagy keménységű és vákuum környezetben stabil, megfelelő tribológiai teljesítményű bevonatok előállítása.

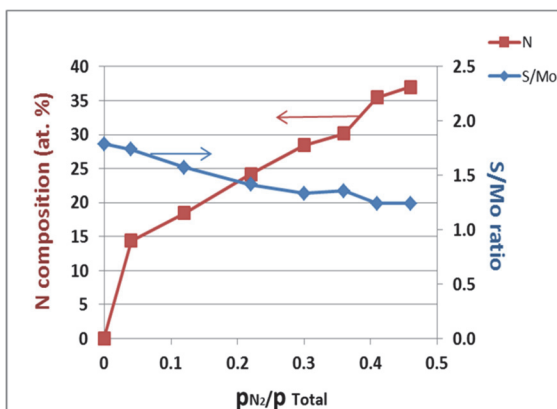
Kísérleti rész

Kezdetben egy innovatív megközelítést alkalmaztunk a bevonat tapadásának javítására. A leválasztás során egy másodlagos plazmaforrást használtunk, hogy egy járulékosan töltött részecskeáramot generáljunk, amelyet a magnetron katódától függetlenül a növekvő bevonat felé irányítottunk. A kísérleti berendezés sematikus elrendezése az 1. ábrán látható.



1. ábra: Másodlagos plazmaforrással ellátott PVD berendezés sematikus elrendezése

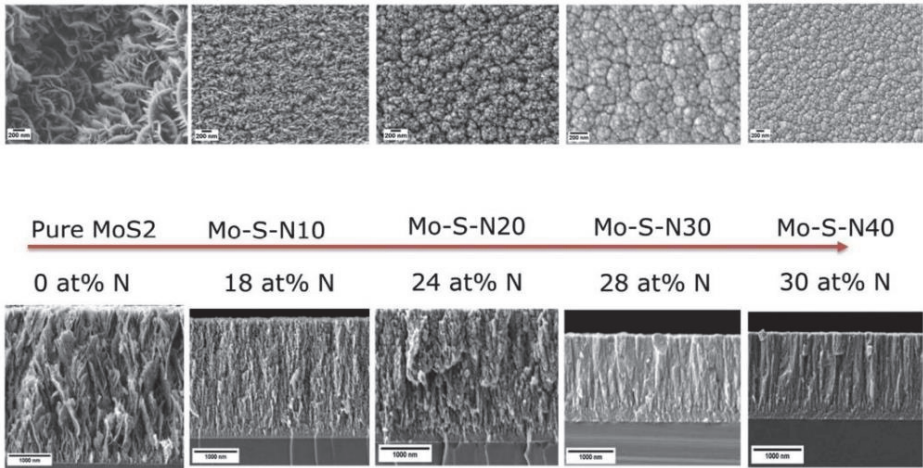
A Mo-S-N szilárd kenőanyag bevonatot egyenáramú magnetronos porlasztással vittük fel egyetlen molibdén-diszulfid (MoS_2) targetot használva, reaktív atmoszférában. A leválasztás során növekvő parciális nyomás mellett nitrogént vezetünk be, aminek következtében magas N-tartalmú (37 at. %) dópolt bevonat keletkezett, a képződő bevonatok nitrogén tartalmát és a S/Mo arányát a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Az S/Mo arány és a N-tartalom alakulása a filmekben a nitrogéngáz parciális nyomásának függvényében.

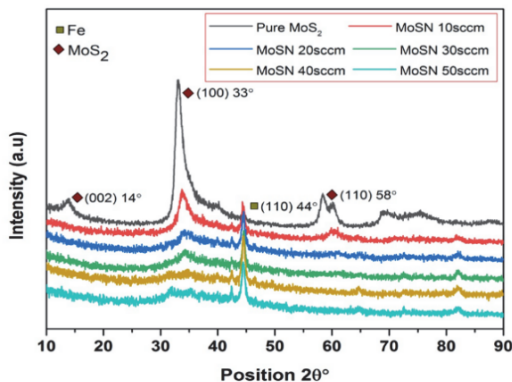
A növekvő bevonatot bombázó energikus részecskék beeső ionenergiájának és fluxusának változása lehetővé teszi az S/Mo arány szabályozását a kénnek a bevonatból történő szelektív

újraporlasztásával. Az S/Mo arány fokozatosan, gradiens-szerű hatással az 1,2-1,8 tartományig nőtt, azaz egy majdnem fémes Mo(N) rétegtől egészen a molibdén-szulfidig (MoS₂). A bevonatok nanokristályosak voltak 0 és 28 at% nitrogén tartalomig, a további N hozzáadás amorf szerkezetéhez vezetett. Az amorfálódás folyamata a 3. ábrán követhető.



3. ábra: Különböző nitrogén tartalmú bevonatok felületi (felső sor) és keresztmetszeti (alsó sor) SEM felvételei

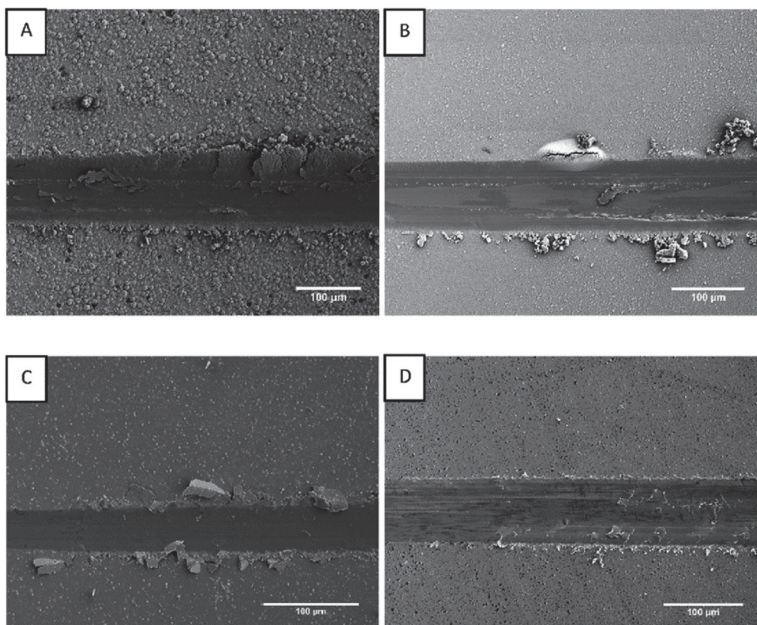
A különböző nitrogén tartalmú bevonatokat GI-XRD berendezéssel vizsgálva, azt az eredményt kaptuk, hogy a 24 at% nitrogéntartalom feletti bevonatok amorfoknak tűnnek, a MoS₂-re jellemző (100) csúcs eltűnik. Az eredmények a 4. ábrán láthatók.



4. ábra: Különböző nitrogén tartalmú bevonatok GI-XRD vizsgálatsorozatának eredménye

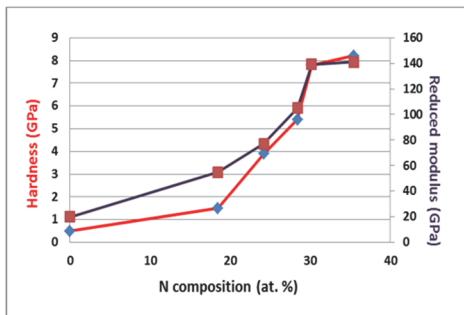
Az ionbombázást nitrogén beépítéssel kombinálva a kohéziós kritikus terhelés (Lc1) elérte a 35 N értéket karcvizsgálat során, amely egy nagyságrenddel magasabb, mint a hagyományos

MoS₂ bevonat. A bevonat szubsztrátumhoz tapadása 80 N felett volt. A karcvizsgálat során keletkezett nyom SEM felvételei láthatók az 5. ábrán.



5. ábra: Különböző felépítésű bevonatok karcnyomának SEM felvételei A=MoS₂ réteg adhéziós réteg nélkül (Lc1: 2,9N / teljes leválás: 14,9N); B=MoS₂ réteg adhéziós réteggel (Lc1: 3,3 N / teljes leválás: >80N); C=MoSN réteg adhéziós réteg nélkül (Lc1: 1,6N / teljes leválás: 22,8N)> D=MoSN réteg adhéziós réteggel (Lc1: 35,1 N / teljes leválás: >80N)

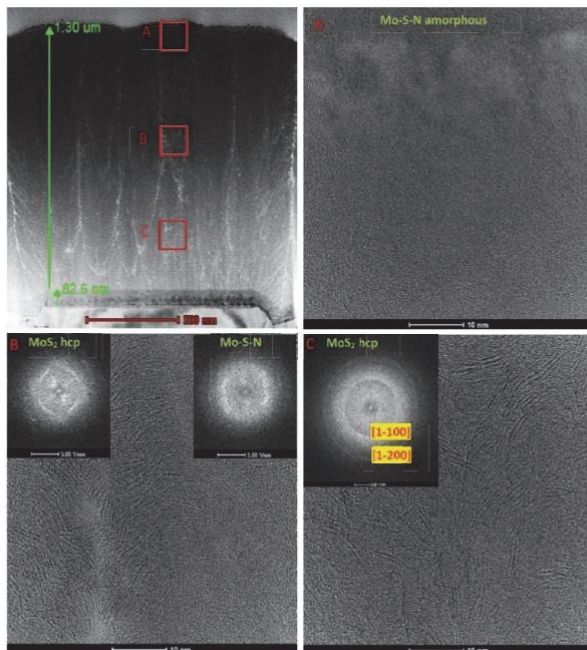
A maximális keménységet 7,9 GPa-nak mértük a 37 at% N-al dőpolt bevonatnál (6. ábra).



6. ábra: A nitrogéntartalom hatása a keménységre és a redukált modulus értékére

A nagy nitrogéntartalmú bevonatok esetében a nagy felbontású transzmissziós elektronmikroszkóp (HR-TEM) amorf szerkezetet, valamint a szubsztrátumhoz való tökéletes

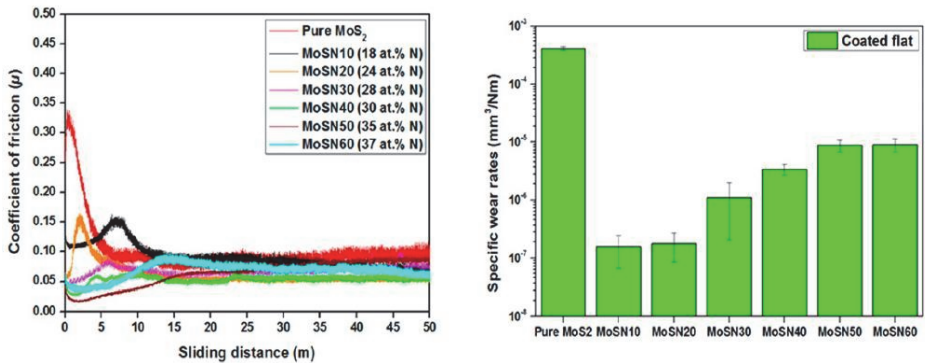
kötést mutatott ki, epitaxiális növekedésű zónákkal. A nitrogénötvözés MoS₂ bevonatokra gyakorolt hatásának megfigyelése érdekében a kiválasztott bevonat (Mo-S-N40, 30 at. % N) három különböző zónájából készített FIB lamellát TEM-on, keresztmetszetben leképeztük. Az 7. ábra a HR-TEM mikrofelveleteket mutatja. A bevonat amorf jellege megfigyelhető, különösen a bevonat teteje felé, nagyon kevés nanokristályos lamellás MoS₂-vel. A szubsztrát határfelülete felé amorf régiók kombinációját figyelhetjük meg, véletlenszerűen orientált MoS₂ lemezekkel.



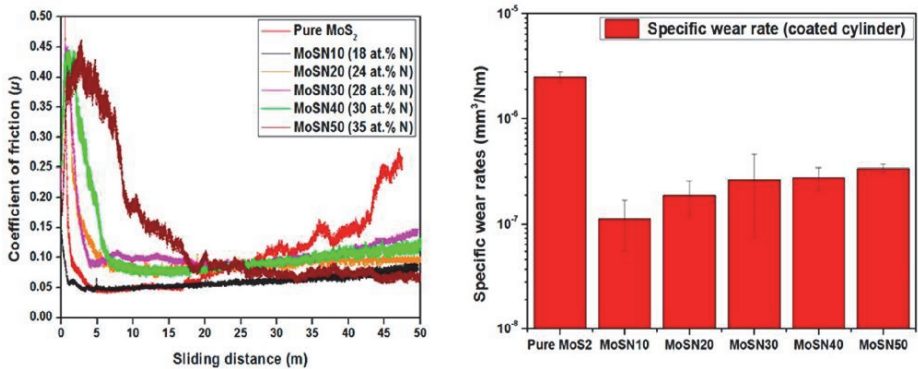
7. ábra: A Mo-S-N40 (30 at. % N) bevonat mikroszerkezete; a megfelelő HR-TEM minták az A; B; C betűekben jelennek meg.

Ezt követően a Mo-S-N bevonatok tribológiai teljesítményét vákuumban (10⁻⁴ Pa) és normál labor körülmények (20-25 °C, 20-30 % relatív páratartalom) között elemeztük. A tribológiai vizsgálatokat viszonylag alacsony érintkezési feszültség mellett végeztük el, hogy szimuláljuk a valódi ipari igényeket egy henger a lapon tribométerrel. A különböző illeszkedő felületek (bevonat kontra acél, bevonat kontra bevonat) közötti kölcsönhatást vizsgáltuk, ezeket az eredményeket a 8., 9. és 10. ábra mutatja. Ezenkívül a terhelések csúszási tulajdonságokra gyakorolt hatásait is tanulmányoztuk a bevonat-bevonat relációra vonatkozóan, valamint az egyik Mo-S-N bevonat tartóssági vizsgálatát a bevonat és acél kölcsönhatása esetén. Minden párosítási körülmény között a tiszta MoS₂ bevonat COF értéke 0,1–0,25 tartományba esett, a legkisebb fajlagos kopási tényező 3,0 × 10⁻⁶ mm³/Nm volt a lapon és 2,5 × 10⁻⁶ mm³/Nm volt a hengeren. A MoS₂ bevonattal összehasonlítva a COF és a fajlagos kopási tényező értéke csökkent nitrogén dópoláskor. A COF a 0,05–0,1 tartományba esett a Mo-S-N bevonatoknál, míg a bevonat kontra bevonat mutatta a legalacsonyabb fajlagos kopási tényező (8,6 × 10⁻⁸ mm³/Nm a lapon és 4,4 × 10⁻⁸ mm³/Nm a hengeren). A terhelés növekedése alacsonyabb

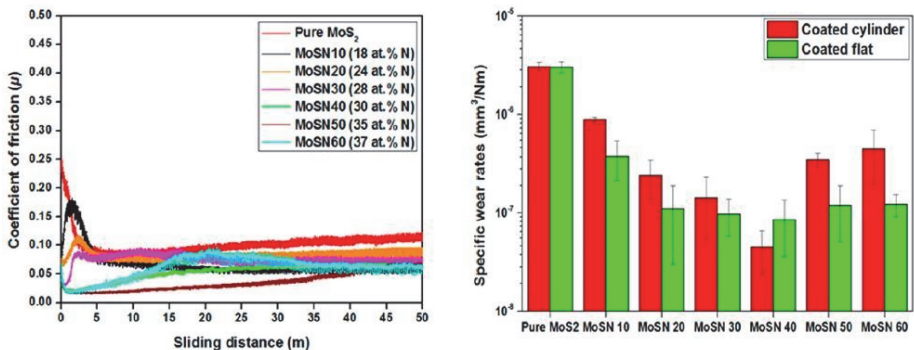
COF -t, de nagyobb kopást eredményezett. A Mo-S-N bevonatok hosszabb ideig működtek alacsony COF mellett hiba nélkül, mint a tiszta MoS₂.



8. ábra: (Balra) Tribológiai tesztek vákuumban Mo-S-N bevonatos lapon 100Cr6 acélhengerral (ellentesttel) a súrlódási együttható a csúszási távolság függvényében. (Jobbra) A bevonatos lapok fajlagos kopási tényező értékei

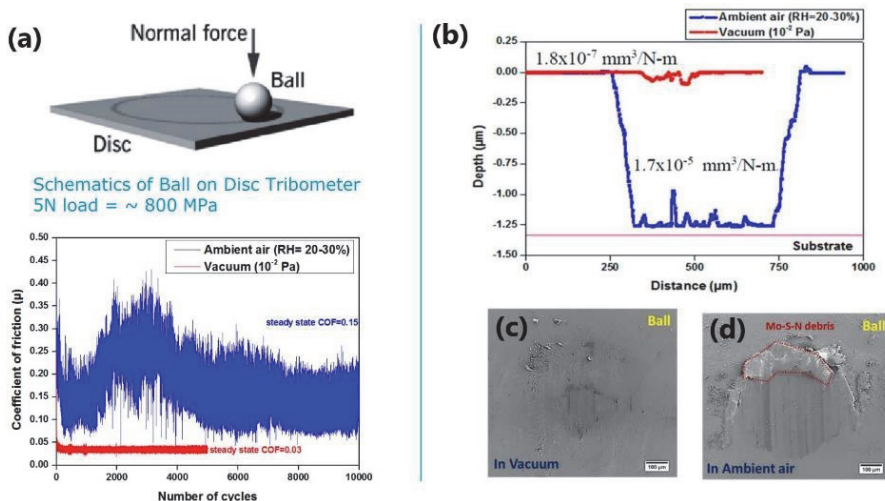


9. ábra: (Balra) Tribológiai tesztek vákuumban Mo-S-N bevonatos hengeren lapos, polírozott ellentesttel, a súrlódási együttható a csúszási távolság függvényében. (Jobbra) A bevonatos hengerek fajlagos kopási tényező értékei



10. ábra: (Balra) Tribológiai tesztek vákuumban Mo-S-N bevonatos hengeren és lapon, a bevonatok azonos adagból kerültek ki, a súrlódási együttható a csúszási távolság függvényében. (Jobbra) A bevonatos hengerek és lapok fajlagos kopási tényező értékei

Végül az Mo-S-N40 (30 at% N) bevonatot vizsgáltuk meg behatóbban vákuumban és környezeti levegőben, labor körülmények között, standard pin-on-disc tribométerrel teszteltünk nagy érintkezési feszültségekkel. A vákuumban és környezeti levegőben végzett tribológiai vizsgálatok 0,03, illetve 0,15 állandósult súrlódási együttható értékeket eredményeztek. A környezeti levegőben végzett vizsgálatok során eleinte (kb. 3000 ciklusig) a súrlódási együttható folyamatosan növekedett, elérve a 0,3-as maximális értéket. A vizsgálat eredményei a 11. ábrán láthatók.



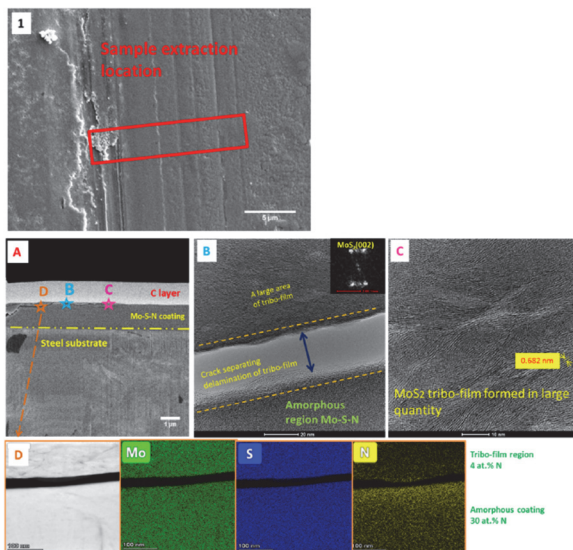
11. ábra: (a) bevonatos tárcsák súrlódási együtthatójának változása a ciklusok számának függvényében, 100Cr6 acélgolyó használatával, környezeti levegőben és vákuum környezetben, (b) kopásnyomok mélységi profilja, (c, d) acélgolyók kopási SEM képei

Munkánk utolsó részében az amorf Mo-S-N bevonatok tribológiai viselkedésének vizsgálata volt a cél, különös tekintettel:

1. a nitrogénbeépülés szerepére,
2. a MoS₂ tribofilm kialakulásának mechanizmusára a csúszó határfelületen,
3. a súrlódási viselkedés változásainak magyarázatára különböző környezetekben.

Az előrejelzések szerint a bevonatban vagy Mo-S-N-fázis alakul ki, amelyben a nitrogén kitölti kén helyeit, vagy egy MoS₂(N₂)-szerkezet, ahol a gázmolekulák megakadályozzák a kristályos lamellás szerkezet kialakulását. A kopási pályákból a FIB-vágást: FEI Helios Nanolab berendezéssel, a TEM vizsgálatokat Jeol ARM 200F / 200kV berendezéssel, valamint FEI Titan3 / 300 kV berendezéssel végeztük. A kopási pályákon végzett nagyfelbontású transzmissziós elektronmikroszkópos (HR-TEM) analízis kimutatta, hogy a vákuumban kialakuló alacsony súrlódási együttható (COF) egy vastag és folytonos lamellás tribo-film kialakulásának

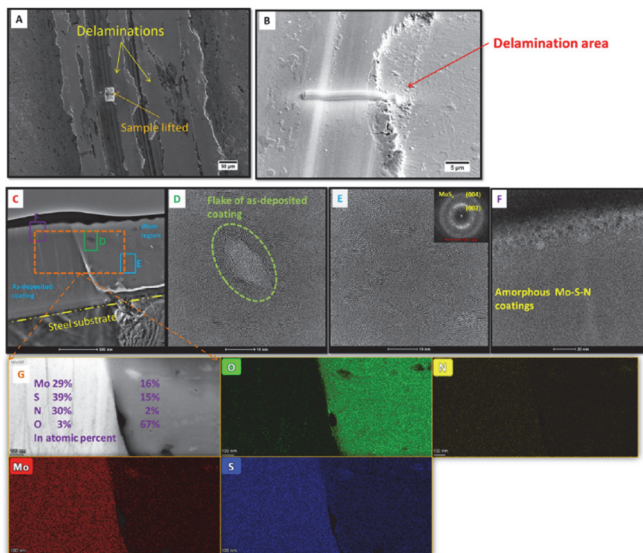
tulajdonítható, alacsony nitrogéntartalommal. A 12. ábra (1) jelű felvételen a FIB vágás helye látható, a kopásnyom teljes keresztmetszetét sikerült kivágni és TEM vizsgálatra előkészíteni. A 12. ábra (A) jelű felvételen a TEM felvételek beazonosítása látható. A (D) terület a képződő tribofilmm réteg határán helyezkedik el, jól látható, hogy a tribofilmben a nitrogén tartalom 4 at%, míg mellette a bevonat 30 at% nitrogént tartalmaz. Ez arra utal, hogy a nitrogén gáz formában (N₂) raktározódik az amorf mátrixban, és a csúszás során felszabadul és elillan. A (B) terület a bevonatot és a tribofilmet elválasztó területet mutatja, a tribofilm lamellás és kristályos MoS₂ tartalmú, a bevonat amorf Mo-S-N összetételű. A (C) terület a tribofilmet jelképezi, itt nagy mennyiségben található lamellás MoS₂.



12. ábra: A kopási nyom TEM analízise vákuumban végzett pin-on-disc teszt után: 1) Kopásnyom a mintakivétel helyével. A) A kopási pálya FIB vágott keresztmetszete, amelyen a TEM felvételek beazonosítása látható. B) A tribo-film leválása által okozott repedés. C) Nagy mennyiségű MoS₂ tribo-film. D) STEM-EDX képek, amelyek a Mo, S és N elemeloszlását mutatják a (D) felületen.

Ezzel szemben a környezeti levegőben a felületi oxidáció megzavarta a folyamatos MoS₂ tribo-film kialakulását az amorf bevonatból, ami a COF és a kopási sebesség növekedéséhez vezetett. A 13. ábra (A) jelű felvételen látható egy nagy delaminációs tartomány a kopópályán, a FIB által kimetszett TEM lamella helyével. A (B) felvételen a kimetszés helye látható nagyobb nagyításon. A 13. ábra (C) jelű felvételen a TEM felvételek beazonosítása látható. A (D), (E), (F) képek keresztmetszeti felvételek, a (G) ábra szekció tartalmazza a környezeti levegőben végzett tribo-teszt során létrehozott kopási nyomnak megfelelő elemtérképeket. A bevonat kopási törmeléke oxigén-dús rideg amorf mátrixba ágyazott lamellás MoS₂ rétegek véletlenszerűen orientált nanométeres nyomaiból áll (13. E és G ábra). A bevonatban egy repedés választja el a bevonat filmet és a kopási törmeléket (13. C ábra). A bevonat lokális rétegleválása és a jelentős kopási törmelék az oxidáció és az oxidszemcsék által kiváltott kopás következménye. A kopópálya felső felülete (13. F ábra) mentes a tribo-filmtől, amely kis súrlódást okozhatott volna a mechanikai érintkezésnél. A koptatáshoz használt golyó elérte a tapadást javító réteget (adhéziós réteg), amely nem kopott át. Köztudott, hogy a környezeti levegőben a vízgőz és az

oxigén felgyorsítja az MoS₂ oxidációját. Ez az oxidáció befolyásolhatja az anyag nagy részét, belső hólyagokat hozva létre, amelyek gyenge pontként működnek, ez a folyamat repedéshez és nagy méretű törmelék leválásához, lehámláshoz vezet. Ezenkívül, ha a MoS₂ rétegek csúszás közben felszínre kerülnek, akkor oxidációs folyamat indul be, ami még több törmelék és kopást eredményez. Ez látható a 13. D ábrán, ahol az oxidált bevonat MoS₂ nano méretű részecskékké keveredik. A STEM-EDX elemzés megerősíti a kopott törmelék nagymértékű oxidációját. Az S/Mo arány lecsökken 1,34-0,93 értékre, valamint nagy oxigénkoncentráció (~67%) jön létre.



13. ábra: A kopásnyom keresztmetszete környezeti levegőben végzett pin-on disc teszt után. A) és B) A minta helye. C) Kis nagyítású keresztmetszeti kép. D) Levált amorf bevonat pelyhek a kopott térfogaton belül. E) Lamellás MoS₂ rétegek a kopott térfogatban. F) A bevonatból származó amorf Mo-S-N tartomány a kopási pályán kívül. G) STEM-EDX elemtérkép a kopásnyomról és a bevonatról.

Összefoglalás

A jól ismert molibdén-diszulfid szilárd kenőanyag nitrogénnel dópolt verzióját sikerült a HEF Groupe által használt technológiákkal, másodlagos plazmaforrással kombinált magnetronos porlasztással ipari berendezésben PVD technológiával előállítanunk. A kísérletek során sikerült előállítani egy jobb tapadású, nagyobb teherbírású, alacsonyabb sűrűlási tényezőjű és jobb kopásállóságú bevonatot, mint a hagyományos molibdén-diszulfid bevonatok. Az így előállított 30 at% nitrogént tartalmazó Mo-S-N bevonat nagyjából egyenlő arányban tartalmaz molibdént, ként és nitrogént. A jól tapadó MoN réteget is tartalmazó bevonat felső, funkcionális rétege amorf szerkezetű Mo-S-N tartalmú szilárd kenőanyag réteg. A tribológia vizsgálataink alapján a Mo-S-N bevonat száraz kenőanyagként jó alternatívája a MoS₂ bevonatoknak. A kialakított bevonat legjobban vákuumban, száraz környezetben felel meg az elvárásoknak. Sikerült igazolni, hogy oxigén jelenlétében a Mo-S-N bevonat a MoS₂ bevonatokhoz hasonlóan oxidálódik, az így keletkező molibdén-oxid bekerülve a tribofilmbé

felgyorsítja a kopási folyamatot. Az előbb említett oxidáció miatt a Mo-S-N bevonatok tipikus alkalmazási területei a következők:

- a világűrben üzemelő berendezések súrlódó alkatrészei
- speciálisan vákuumban üzemelő berendezések súrlódó alkatrészei, ahol a levegő expozíciója nélküli a felhasználás.

Hivatkozások

1. Hebbar Kannur, K.; Yaqub, T. B.; Huminiuc, T.; Polcar, T.; Pupier, C.; Héau, C.; Cavaleiro, A. Synthesis and Structural Properties of Mo-S-N Sputtered Coatings. *Appl. Surf. Sci.* 527 (2020) 146790. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146790>.
2. Kaushik Hebbar Kannur 139 Annex B Hebbar Kannur, K.; Yaqub, T. B; Pupier, C.; Héau, C.; Cavaleiro, A. Mechanical Properties and Vacuum Tribological Performance of Mo-S-N Sputtered Coatings. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 12 (2020) 43299–43310. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c12655>.
3. Hebbar Kannur, K; Huminiuc, T.; Yaqub, T. B.; Polcar, T.; Pupier, C.; Héau, C.; Cavaleiro, A. An insight on the MoS₂ tribo-film formation to determine the friction performance of Mo-S-N sputtered coatings, *Surf. and Coat. Technol.* 408 (2021) 126791. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126791>.

8 óra munka, 8 óra pihenés... Mindennapok a Csepeli Szerszámedző Kft-nél

Somogyi János

Csepeli Szerszámedző Kft.

**XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia 2022. október 5-7.
Balatonfüred**

8 óra munka, 8 óra pihenés... Mindennapok a Csepeli Szerszámedző Kft-nél

**Somogyi János
üzemvezető
Csepeli Szerszámedző Kft.**

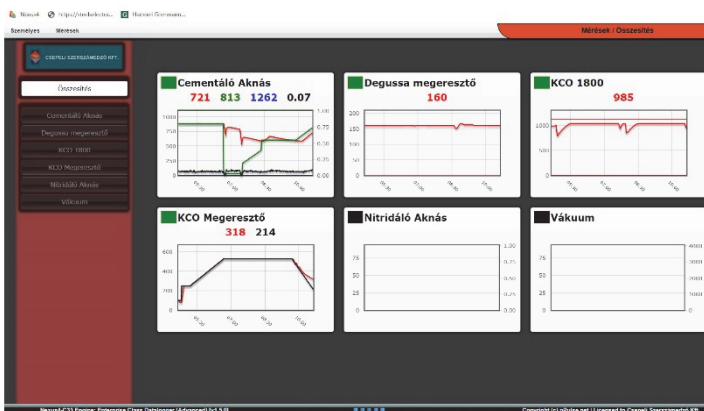
Tartalom

- **25 éves a Csepeli Szerszámedző Kft.**
- **Beruházások 2015-2022**
- **Jelenlegi helyzet**
- **Mindennapok szépségei**
- **Jövőbeni tervek, lehetőségek**
- **Összegzés**

25 éves a Csepeli Szerszámedző Kft!



Beruházások	
Beszerezés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek Qness Qcut 950E automata vágógép Qness Opal 410 meleg beágyazó prés Qness Saphir520 csiszoló Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu



Beruházások	
Beszerzés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu

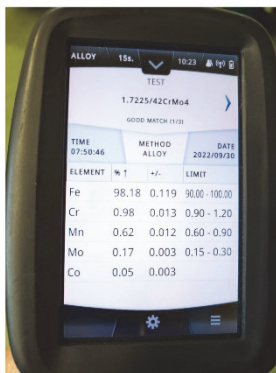


Beruházások	
Beszerzés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu

Beruházások	
Beszerezés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu



Beruházások	
Beszerezés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu



Beruházások	
Beszerezés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu

Beruházások	
Beszerezés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu



Beruházások	
Beszerezés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu





Beruházások	
Beszorzás éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Dejáratí kapu



Beruházások	
Beszerezés éve	Megnevezés
2015	Regisztráló
2016	Qness Q250MS Keménységmérő
2019	Labor korszerűsítés tervezése, árajánlatok kérése
2019 Covid 19	
2020	Qness Q150 CS keménységmérő
	Hitachi X-MET8000 anyagösszetétel-elemző
2021	Labor teljes felújítása, klíma, új számítógépek
	Qness Qcut950E automata vágógép
	Qness Opal410 meleg beágyazó prés
	Qness Saphir520 csiszoló
	Qness Q10M mikrokeménység-mérő
2022	Bejárati kapu



Jelenlegi helyzet

- 2022. januártól két műszakvezető és a titkárnő nyugdíjba ment
- 2022. márciustól egy asszisztent és egy segéd munkást sikerült felvennünk
- Két fő ügyvezetővel, üzemvezetővel, minőségbiztosítási vezetővel, 3 fő műszakvezetővel, 4 fő segéd munkással csináljuk a 3 műszakot...
- Keressük az új kollégákat, ez nagy kihívást jelent
- Be kellett vezetnünk a téli-nyári 2-2 hét leállást a szabadságolások miatt
- Az utóbbi évek nehézségei ellenére minden évben volt egy-két szakdolgozat vagy diplomamunka készítő diákunk.

Mindennapok szépségei

- Az új laborral több lehetőség nyílik a megrendelők kiszolgálására, illetve a saját eredmények elemzésére
- A probléma az idővel van. Mivel kevesen vagyunk, lassan haladnak a mérések
- Az idő egyébként is a legdrágább jelenleg, gyakorlatilag az utóbbi években nem árajánlat kérések, hanem határidő kérések érkeznek
- Apropos árajánlat, energia, ipari gázok, bér, rezsi... Nem vagyok se közgazdász, se politikus, se látnok. Nem tudom mi lesz januártól. Biztosan téma lesz ez majd a szünetekben, vacsora után, vagy már tegnap este pár pálinka után meg is váltottuk ezzel kapcsolatban a világot.

Mindennapok szépségei

- Eddig nem okozott problémát a megrendelőknek, ha árat emeltünk. Az adagok optimalizálásán túl, technológiák átdolgozásával próbálunk spórolni
- DE! Például a nitridálás olyan költségessé vált, amit már nem lehet áttérhelni a megrendelőkre. Ott tartunk, az is siker, ha nem veszteséges egy adag...
- Nehéz ügy, megoldjuk valahogy!

Mindennapok szépségei

A legutóbbi konferencián említett felületes megrendelések, szakmaiatlan előírások, irreális keménységi igények tovább borzolják a mindennapjainkat, dementorként szívják ki a maradék erőnket.

- futárok (jöttem a cumóért)
- sofőrök (azt se tudja hol van)
- hiányos szállító levelek, ha egyáltalán van (de kiszállító az kell)
- egyeztetés nélküli készre munkálások
- kevert anyagminőségek
- lehetetlen határidők
- bunkóság... nem tudom szebben írni...

Jövőbeni tervek, lehetőségek

- A munkatársak és saját magunk folyamatos fejlesztése, belső oktatások
- Informatikai rendszer folyamatos bővítése, vonalkód bevezetése
- Átvételi-minőségi-számlázási információk összefésülése
- Bizakodás abban, hogy mielőbb rendeződik a gazdasági-politikai helyzet
- Nem vagyunk nagyravágyók, csak dolgozni szeretnénk. Látni a tulajdonosok örömet, majd a családdal elkölteni a megérdemelt fizetésünket. Ennyi elég lenne...

Összegzés

▪ Szakmaszeretet

Mi a szerszámedzőben szeretjük a munkánkat, minden nap új kihívások elé nézünk, folyamatosan tanuljuk a szakmát. Ha továbbra is kellő alázattal és odafigyeléssel dolgozunk, még lehet belőlünk valami.

▪ Kitartás

Példát vehetünk Dr. Tóth Tamásról, és köszönetet mondhatunk a kitartásáért. A XXX. Konferenciát is ugyanolyan odaadással szervezte, mint a korábbiakat. Köszönjük a lehetőséget.

▪ Siker

Kívánunk mindenkinek sok sikert a következő években. Azt hiszem minden jókívánság ránk fér majd.

Köszönöm a figyelmet!

Jó Szerencsét!



Optimális paraméterek meghatározása Dievar melegmunkaacél szerszámok hőkezelése során

Determination of optimal parameters during heat treatment of Dievar hot work tool steel

Bede Martin¹, Dr. Tóth László²

¹ *Titán '94 Kft. H-3021, Lőrinci, Bajcsy-Zsilinszky u.116*

² *Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- és Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék, H-1081 Budapest, Népszínház u. 8*

¹ *bedee.martin@gmail.com; ²toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu*

Abstract

The purpose of the heat treatment of the tools is to achieve the final properties of the finished product. Main properties expected of tools are: hardness, wear resistance, toughness, heat resistance. We can achieve these properties with the final heat treatment by creating the appropriate microstructure. The appropriate microstructure can be achieved with well defined parameters. Such parameters are the heating rate, the corresponding temperatures, the holding times and the cooling rates. The subject of this study is to determine the optimal heating and holding times depending on the wall thickness in case of Dievar hot work tool steel in order to achieve the homogenous microstructure.

Keywords: heat treatment parameters, Dievar, tool steel, vacuum heat treatment

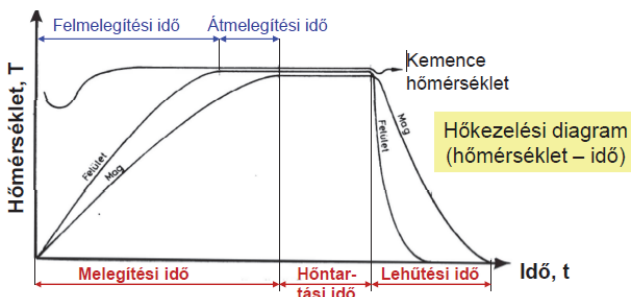
Absztrakt

A szerszámok hőkezelésének célja a kész termék végső tulajdonságainak az elérése. A szerszámokkal szemben támasztott főbb tulajdonságok közül megemlíjtük: a keménységet, kopásállóságot, szívósságot, melegszilárdságot. Ezen tulajdonságokat a végső hőkezeléssel tudjuk biztosítani, a megfelelő szövetszerkezet kialakításával. A megfelelő szövetszerkezetet jól meghatározott paraméterekkel lehet elérni. Ilyen paraméterek a hevítési sebesség, a megfelelő hőmérsékletek, a hőtartási idők és a hűtési sebességek. Tanulmányunk során a Dievar melegmunkaacélból készült szerszámok esetében tárgyaljuk a falvastagságok függvényében az optimális hevítési és hőtartási időket a homogén szövetszerkezet elérése céljából.

Kulcsszavak: hőkezelési paraméterek, Dievar, szerszámacél, vákuum hőkezelés

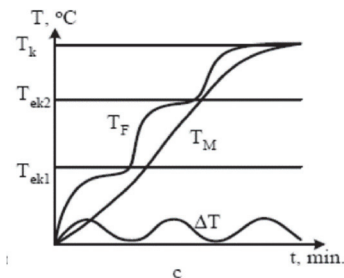
Bevezetés

A hőkezelés olyan hevítési, hőntartási és hűtési szakaszokból álló termikus ciklus, mely a munkadarab szerkezetének, illetve feszültségi állapotának tudatos megváltoztatására irányul, előírt tulajdonságok elérése céljából (1. ábra) [1,2].



1. ábra A hőkezelés ciklusai

Az 1. ábra egy meleg kemencébe rakott munkadarab hevítésének, hőntartásának és hűtésének jellegét szemlélteti. A kéreg és a mag közötti hőmérsékleteltérés okozta termikus feszültségek vetemedést és repedést okozhatnak. Ennek elkerülése érdekében a hevítési szakaszba lépcsőket, hőkiegyenlítő szakaszokat iktatnak (2. ábra).



2. ábra Lépcsős hőntartás hőkiegyenlítés céljából

A munkadarab egy adott hőmérsékletre való felhevítéséhez szükséges hőmennyiség (Q), függ a darab tömegétől (m), az alapanyag fajhőjétől (c), a végső (T_i) és a kezdeti hőmérséklettől (T_o) (3.ábra).

$$Q=mc(T_i- T_o) [J]$$

3. ábra A munkadarab felmelegítéséhez szükséges hőmennyiség

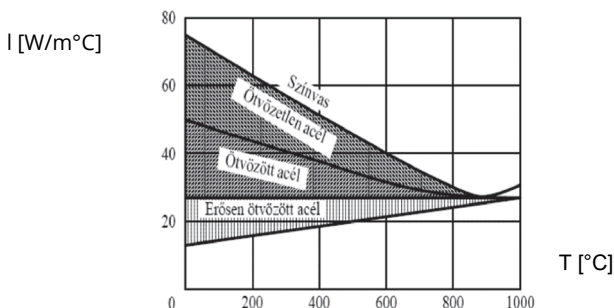
A hevítési idő (t_m) pedig függ a munkadarab tömegétől (m), a fajhőtől (c), a hőmérséklet különbségtől (dT = T_k-T_o) ahol T_k = a kemence hőmérséklete és T_o = a kezdeti hőmérséklet, a

darab felületétől (A), a hőátadási együtthatótól (α) valamint a munkadarab előírt hőmérsékletétől (4.ábra).

$$t_m = \frac{mc}{A\alpha} \ln \frac{T_k - T_o}{T_k - T_m}$$

4. ábra A hevítési idő

A munkadarab és a környezet között hőcsere valósul meg, mely hővezetéssel, hőáramlással és hősugárázással járhat. A hővezető képesség (λ) a munkadarabra jellemző, mely függ a vegyi összetételtől, a szerkezeti állapottól és a hőmérséklettől (5.ábra).



5. ábra. A hővezető képesség az összetétel és hőmérséklet függvényében

A hőáramlás a hőátadó közeg (pl. gáz) áramlása révén jön létre mely függ az áramlási sebességtől, vagyis a gáz nyomásától, illetve a beépített ventilátoroktól.

A hősugárzás útján történő energiaátadás nem igényel közvetítő közeget, vákuumban ez az egyetlen módja a munkadarab felhevítésének.

A nagymértékű hőfeszültségek és a repedésveszély kialakulása elkerülhető lassú hevítés alkalmazásával, illetve hőkiegyenlítő lépcsők használatával. A lassú hevítés hátránya lehet a revésedés, dekarbonizáció illetve a szemcsedurulás.

A fentiek alapján arra a következtetésre jutunk, hogy a gyakorlatban elméleti képletek segítségével szinte lehetetlen az optimális hevítési sebesség, illetve idő meghatározása. A hagyományos hőkezelő gyakorlatban a hevítési idő (t_m) meghatározására az alábbi képletet alkalmazzák (6.ábra):

$$t_m = L \cdot t_f \cdot k_f \cdot k_e \text{ [s]}$$

6. ábra Hevítési idő számítása

ahol, L = jellemző méret [mm], t_f = fajlagos hevítési idő [s/mm], k_f = formatényező, k_e = elhelyezkedési korrekciós tényező.

A hőntartási idő a hőkezelési célt szolgáló fémtani folyamat függvénye melyet meghatározza:

- a hőkezelés célja
- a hevítő közeg
- a kemence típusa
- az anyagminőség
- a kiinduló szövetszerkezet
- a munkadarab mérete
- a munkadarab elhelyezkedése.

A hőntartás idejét, tapasztalati adatok, kísérleti eredmények segítségével, illetve számításokkal határozzák meg. Fontos, hogy a hőntartás ideje a szükséges minimum legyen a szemcsedurulás elkerülése céljából [3,4].

Hengeres acél munkadarabok hőntartási idejének meghatározásához a hagyományos hőkezelésben alkalmazzák az alábbi képletet (7. ábra):

$$t_i = 20 + D/2 \text{ [min]}$$

7. ábra Hőntartási idő meghatározása

Manapság az optimális hevítési és hőntartási paraméterek a modern hőkezelő berendezések segítségével könnyen megvalósítható. Munkánk során a Titán '94 Kft. vákuum hőkezelő kemencéjében a Dievar melegmunkaacél szerszámok optimális hevítési és hőntartási paramétereinek meghatározását végeztük el.

Alkalmazott eszközök, anyagok, technológiák

A Dievar anyagminőségű szerszámok edzését az IU 72/1F 2RV 60x60x40 10bar CP SCHMETZ típusú vákuumkemencében (8.ábra) végeztük, míg a megeresztéseket a MUHEL E/NV típusú nitrogén védőgázos kemencébe (9.ábra).



8. ábra Schmetz vákuum kemence



9. ábra Muhel védőgázos kemence

A Dievar acélminőség egy speciálisan az Uddeholm által kifejlesztett melegmunkaacél mely a legjobb teljesítményt nyújtja. Krómmal, molibdénnel és vanádiummal ötvözött nagyon jó melegsilárdságú, meleg-kopásállóságú és hőrepedés-állóságú szerszámacél, jól edzhető, kitűnő szívósságú és hőkezeléskor jó mérettartóságú [5].

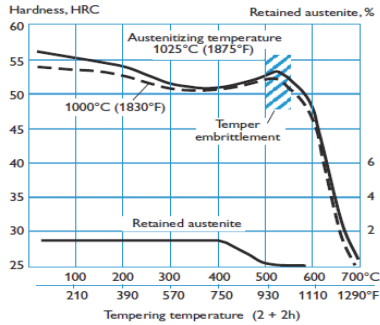
Az acél összetételét az 1. táblázat szemlélteti.

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,35	0,20	0,50	5,00	2,30	0,60

1. táblázat Uddeholm Dievar vegyi összetétel

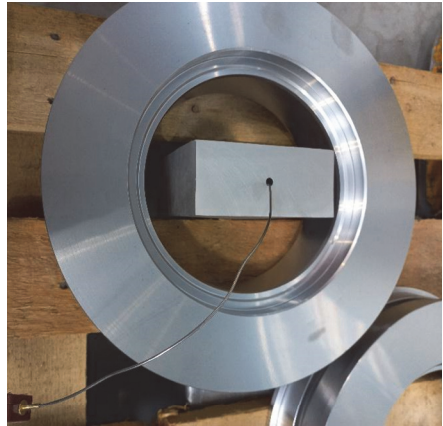
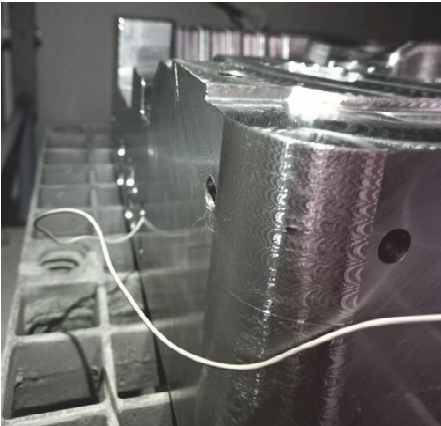
A hőkezelési technológia megtervezésekor a szakirodalom szerinti 1025°C-os ausztenítésítési hőmérsékletet alkalmazzuk, a vevő által kért keménység elérése céljából meg az acél megeresztési diagramja alapján (10. ábra) választjuk ki a megeresztési hőmérsékleteket.

TEMPERING GRAPH



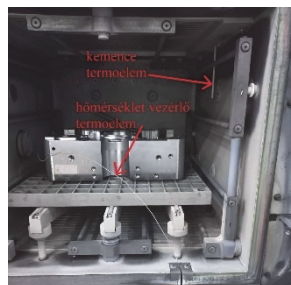
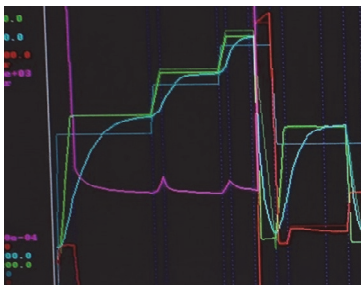
10. ábra. Dievar megeresztési diagram

Az ausztenítésési hőmérsékletre való felhevítés során két hőkiegyenlítő lépcsőt alkalmazunk az átalakulási hőmérsékletek (A_{c1} ill. A_{c3}) alatt és pedig 650°C-on és 850°C-on [6,7]. A hőkiegyenlítő lépcsők hűttartási idejét a kritikus anyagvastagság függvényében a munkadarabba vagy próbatestbe behelyezett termoelem szabályozza (11.ábra).



11. ábra. A szerszámba, illetve próbatestbe behelyezett szabályzó termoelem

Az edzést és az első megeresztést a vákuumkemencében végezzük, a diagram, illetve a kemence és a munkadarabba behelyezett termoelem a 12. ábrán látható.

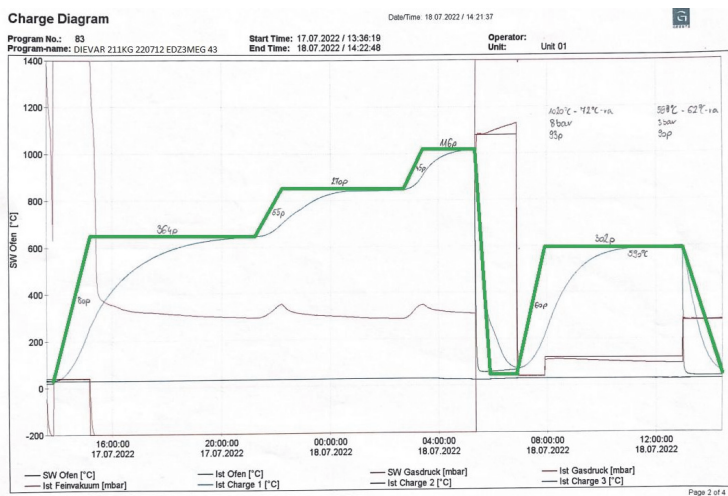


12. ábra. Edzés és első megeresztési diagram, illetve a termoelemek elhelyezkedése

A diagramon láthatjuk a kemence termoeleme által mért hőmérsékletet (zöld színű vonal) és a szabályzó termoelem által mért hőmérsékletet (kék színű görbe). Amikor a szabályzó termoelem által mért hőmérséklet eléri a kívánt értéket azt jelenti, hogy a munkadarab belseje és felülete között kiegyenlítődött a hőmérséklet és csak ekkor kezdődik el a következő szegmens.

Mérési eredmények

Az alábbiakban (13.ábra) egy 211kg-os Dievar alapanyagú melegalakító szerszám edzési és első megeresztési diagramját láthatjuk, mely hevítési és hőntartási paramétereit a vezérlő termoelem segítségével optimalizáltuk. Ezzel a módszerrel egy egész keresztmetszetében homogén szövetszerkezetű szerszámot kapunk ami garantálja a feszültségmentességet és a mérettartósságot!



13. ábra. Dievar hőkezelési diagram

13 darab Dievar minőségű szerszámba beépített termoelem által szabályozott hevítési és hőntartási paramétereit vizsgáltuk meg mely eredményeit a 2. táblázat szemlélteti.

S.sz.	Darab	Hev. 650°C- ra	Mag (°C)	Hőntartás	Hev. 850°C- ra	Mag (°C)	Hőntartás	Hev. 1025°C- ra	Mag (°C)	Hőntartás
	tömeg, kg	Ideje (min)	hőm.	Ideje (min)	Ideje (min)	hőm.	Ideje (min)	Ideje (min)	hőm.	Ideje (min)
1	28	45	436	90	30	751	54	30	1006	41
2	41	50	430	94	38	748	56	35	1000	45
3	44	50	423	123	40	746	61	35	987	51
4	50	50	421	164	40	744	87	38	980	61
5	103	59	352	195	45	739	104	40	952	74
6	107	60	346	211	45	732	107	40	943	76

7	108	60	341	213	45	731	162	40	940	76
8	129	62	340	254	50	726	186	40	939	83
9	130	65	324	307	50	725	188	40	932	90
10	137	70	288	318	50	719	194	40	929	103
11	140	70	270	323	50	715	217	40	926	109
12	177	75	268	360	50	698	241	40	911	112
13	211	80	266	364	55	692	270	45	894	116

2. táblázat Paraméter eredmények

A hőmérséklet különbségeket a hőkiegyenlítő lépcsők elérésekor a felület és mag között a 3. táblázat mutatja.

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ΔT 650	214	220	227	229	298	304	309	310	326	362	380	382	384
ΔT 850	99	102	104	106	111	118	119	124	125	131	135	152	158
ΔT 1020	19	25	38	45	73	82	85	86	93	96	99	114	131

3. táblázat Hőmérséklet különbségek a munkadarab felülete és magja között

Következtetések

1. A 211kg-os Dievar szerszám hőkezelési diagramja alapján láthatjuk, hogy a Schmetz vákuumkemencében a kemence nitrogén védőgázban hőáramlás útján 80 perc alatt elérte a 650°C-ot, de ekkor a munkadarab magjában csak 266°C-os volt a hőmérséklet. 650°C-tól már vákuumban történt a hőntartás és hevítés, ahhoz, hogy egész keresztmetszetében elérje a 650°C-ot még 364 percre volt szükség. 650°C-ról 850°C-ra a kemence 55 perc alatt melegedett fel, de a munkadarab magja ekkor még csak 692°C-on volt, a második lépcső 270 percgig tartott, ami azt jelenti, hogy hővezetés hatására az anyag ennyi idő alatt melegedett 692°C-ról 850°C-ra. A kemence 850°C-ról az ausztenítési hőmérsékletre, azaz 1025°C-re 45 perc alatt hevült fel amikor a munkadarab magja 894°C-os volt. Az utolsó lépcsőn a hőkiegyenlítő 86 percgig tartott, a homogén ausztenít kialakulása meg még 20 percgig. Így összeségében a 211kg-os Dievar szerszám ausztenítésére 15,5 órát vette igénybe a vákuum kemencét.
2. Hevítéskor a munkadarab felülete és belső részei között hőmérséklet különbség keletkezik, aminek mértéke elsősorban a darab vastagságának és a hevítési sebességnek a függvénye. A melegebb külső részek térfogata megnő mely nyomó feszültséget eredményez míg a belső rétegekben húzófeszültség ébred. Ha ezek a feszültségek elérnek egy kritikus értéket akkor az anyag belsejébe repedések keletkezhetnek, melyek később szerszámtöréshez vezethetnek. A keletkező feszültség adott munkadarabban annál nagyobb, minél nagyobb a hőmérséklet különbség a darab felülete és magja között. Ezért is fontos a hevítési, illetve hőntartási paraméterek optimális meghatározása.

3. A 3. táblázat alapján láthatjuk, hogy ahogy nő a munkadarab tömege, úgy nő a felület és a mag közötti hőmérséklet különbség és minél nagyobb hőmérsékleten történik ez a vizsgálat annál kisebb a hőmérséklet gradiens.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton kívánnak köszönetet mondani munkánkhoz nyújtott anyagi támogatásért a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00081 számú projekt keretében a Magyar Államnak és a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak.

Acknowledgement

The author would like to thank the Hungarian State, the National Research, Development and Innovation Office and the European Union for their support in project No. 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00081

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] **Dr.Kisfaludy Antal, Réger Mihály, Tóth László:** Szerkezeti Anyagok I. Bánki Donát Műszaki Főiskola, Budapest, 1995
- [2] **Szombatfalvi Árpád:** A hőkezelés technológiája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [3] **Antonio Augusto Gorni:** Steel Forming and Heat Treating Handbook, 2016.
- [4] **Dr. Artinger István:** Szerszámacélok és hőkezelésük, 1978.
- [5] www.uddeholm.com
- [6] **Bozo Skela; Marko Sedlacek; Bojan Podgornik:** Microstructure and Heat Treatment of Hot Work Tool Steel: Influence on Mechanical Properties and Wear Behaviour, Key Engineering Materials ISSN 1662-9795 Vol767, pp.196-203, doi:104028/www.scientific.net/KEM
- [7] **László TÓTH; Tünde KOVÁCS; Zoltán Nyikes; Valeriu-Gabriel GHICA:** Increasing The H13 Tool Steel Wear Resistance by Plasma Nitriding and Multilayer PVD Coating, U.P.B. Sci.Bull. Series B, Vol 83, Iss.2 2021, ISSN 1454-2331

AICHELIN: Kamrás kemencék 2032-ben – PIACOK, AUTOMATIZÁCIÓ, ZÖLD ENERGIA, BIZTONSÁG

Christoph Schneider¹, Diószeghy Zoltán²

¹ Aichelin GmbH, Ausztria

² Aichelin képviselő, DPT Kft.



Kamrás Kemencék 2032-ben
Piacok, Automatizáció, Zöld energia, Biztonság



Reliability at Work



Aktuális témák minden szinten....



Piacok



Fűtési módok



Kamrás kemencék



Automatizáció, többtelephelyes működés



Zöld energia, karbon-lábnyom



Biztonság



Fő termékterületek – mi a következő?

Autóipar, váltók



Vegyes alkatrészek edzése



Golyóscsapágyak



Új termékek / alkalmazási területek

- Növekvő edzés intenzitás → polimerről az olaj felé?
- Kisebb deformáció sóedzéssel → növekvő piaci lehetőségek?
- Beszállítók kisebb befektetési hajlandósága → bérhőkezelők → több kamrás kemence?
- Nagyobb rugalmasság bizonytalan gazdasági környezetben!
- Gáz- és energiaköltségek hatásai?

Piacok – hol a határ?

- A minőségi acél ára újra nőni fog? Mikorra várható egy stabilizáció? → Mikor éri el a csökkenés a kis/közepes szállítók/termelőköt?
- Gáz- és energiaköltségek egyidejű emelkedése → a hatás még is érzékelhető meg 100%-ban a piacokra → drasztikusan növekvő működési költségek → megélhetési költségek emelkedése → munkaerő költségek
- Szállítási idők: pl egy CPU kb 12-15 hónap!
- Szállítási költségek → váltunk helyi forrásokra?
- Közeledik a globalizáció vége ??

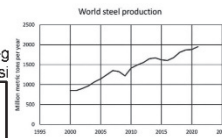
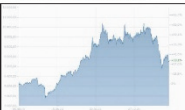
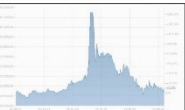
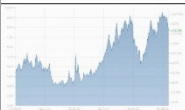
Példa költségváltozásra 2021 → 2022 SIEMENS, Rittal, stb.

+4-5%	1.10.2021
+4-6%	1.01.2022
+9-15%	1.07.2022
+7%	1.10.2022

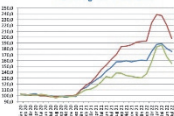
Földgáz árak USD +73% 1 év

Nikkel ár USD +9,2% 1 év

Réz árak USD +33,1% 3 év



Minőségi acél árinдекс



Forrás: Statistik Austria (theSteel.com)

Fűtés és más nehézségek



Lángmentes égők

- + szabadalom lejárt – költség csökken
- + <100 mg NOx/Nm³ - de csak teljes lángmentes módban
- teljes lángmentes mód @ 850°C felett
- a kemence diffúzió vagy keményítés alatti hőmérsékletén több NOx és kisebb hatékonyság
- magasabb beruházási költség, mint a REKU égők

Az előírt határérték (DE: TA-Luft) nem módosul
marad <350mg NOx/Nm³

Normál gázégők sugárzócsövekkel

- + hatásfok akár +70% 925°C-on
- + olcsó és még mindig sok felhasználáshoz elegendő

Hidrogen égők, Hidrogen keverés

- + gázégőkenél akár 20% hidrogen hozzáadás lehetséges
- + CO₂ csökkenés
- + az égő jól tolerálja a H2 arány kisebb változásait
- "csak hidrogen" nincs kész sorozatgyártásra
- sok kutatási igényel (még)

Villamos fűtés

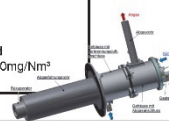
- + akár 99% hatásfok
- + nincs NOx, nincs közvetlen CO₂
- kevesebb hulladékgáz
- közvetlen fűtés
- sugárzócsövekkel nem lehetséges
- magasabb (energia) költségek és komoly teljesítmény csatlakozási igény
- drágább villamos szerelvények



Rekuperátoros égők

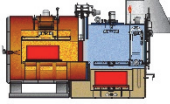
- + hatásfok akár 80% 925°C-n
- + NOx/Nm³ határértékekben belül
- + hőmérsékletfüggetlen, egy működési mód
- + katalizátorral utólag felszerelhető NOx <50mg/Nm³
- katalizátorral igen komplex rendszer

Új ETAMAT égő akár 90% hatásfokkal



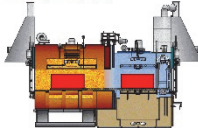
Aichelin kamrás kemence koncepciók

Előkamrás [VKE(G)s]



- + legkisebb helyigény
- + legalacsonyabb költség – egy rakodó/szállítóasztal, sínrendszer, elszívósapka, stb...
- + új adag berakható, míg az előző az olajfűrdőben van
- + leggyakoribb elrendezés
- + legalacsonyabb karbantartási költségek
- potenciális idővesztés az előkamra átszellőzése miatt (cementálási hőmérsékletre fűtés esetén)
- gázhűtés közben nem lehet adagolni

Átmenő [DKE(G)s]



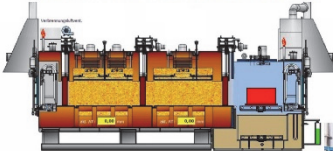
- + az anyagmozgás egyszerűsítésének koncepciója
- + rugalmas sorozatgyártáshoz
- + adagolható gázhűtés közben
- + előkamra szellőzése nem jelent idővesztésget
- magasabb intergranuláris oxidációt (IGO) okozhat
- adagolás során az előkamra teljes atmoszféra cseréje
- magasabb beruházási és karbantartási költségek, mint az előkamrás kemencéknél

AICHELIN Group | 2022

Page 6

Aichelin kamrás kemence koncepciók

Duplakamrás kemence [2KDKE(G)s]



- + legnagyobb átteresztőképesség
- + két hőmérsékleti és atmoszféra zóna
- + legjobb energiahatékonyság és legkisebb karbonlábnyom magas kihasználtságnál
- legmagasabb beruházási költség
- legnagyobb helyigény
- kisebb rugalmasság

egyedi AICHELIN megoldás:
1. és 2. kamra közti gáztömör átmenet



AICHELIN Group | 2022

Page 7

Automatizáció, folyamatellenőrzés

Pros

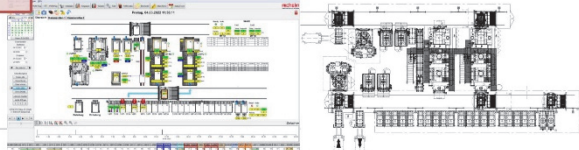
- Működési költségek kézbeartatása
- Nagyobb átteresztőképesség
- Kevés hibalehetőség
- Távoll megfigyelés
- Maximális biztonság
- Folyamat stabilitás

Cons

- Magasabb költségek
- További berendezések
- További tudás
- Felügyelet nem hagyható el → atmoszféra

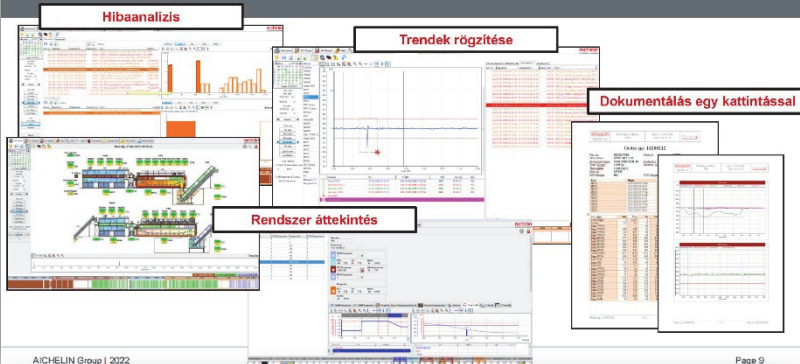


Eszközök: rakodórendszer fényzorompokkal, biztonsági kerítéssel, tárolóhelyek pozíciókapcsolókkal, nyomon követhető folyamatirányító, kiegészítő létrák és karbantartó platformok stb.

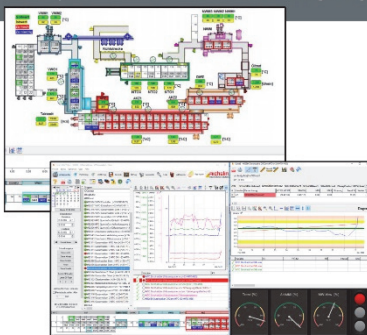


AICHELIN Group | 2022

FOCOS 4.0 – gyors és egyszerű



Állapot monitor – a hőkezelés jövője?



- Hibamegelőzés (Error prevention)
- Fontos műveletek nyomon követése (Monitoring of important operations)
- Termékek áttekintése bármikor (Product overview at any time)
- Szerviz időzítések és alkatrészek költségének optimalizálása (Optimization of service scheduling and component costs)
- Maximális üzembiztonság (Maximum operating safety)
- ...a működés a jó adat- és tudásbevitel függvénye!
→ Őrizd meg céged tudását a jövő számára!

Vizualizáció, karbantartástörténet



A hőkezelés "zöld oldala"

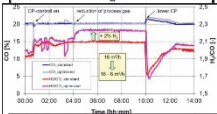
Maximális kemenceszigetelés

- + akár 20% felületi veszteség csökkentés mikroporózus anyagokkal
- + környezeti hőmérséklet csökkentése, csak + 35°C
- + biztonság
- + magasabb beruházási költségek

Energiatakarékos motorok

Processzgáz áramlás optimalizálás

- + változatlan eredményesség
- + akár 40% megtakarítás



Hőviszanyerés

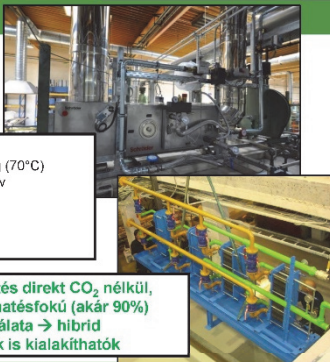
- + pl edzőolaj (120°C) → tisztítóegység (70°C)
- + megtakarítás 250-400 MWh / év
- + jobb "zöld cég besorolás"
- beruházási költségek
- összetett kiegészítőrendszerek
- karbantartás, alkatrészek

Bio-gáz használat

Villamos fűtés direkt CO₂ nélkül,
vagy nagy hatásfokú (akár 90%)
égők használata → hibrid
megoldások is kialakíthatók

Tartósabb komponensek

pl keringetőventilátorok, ajtók, automatikus kenés stb

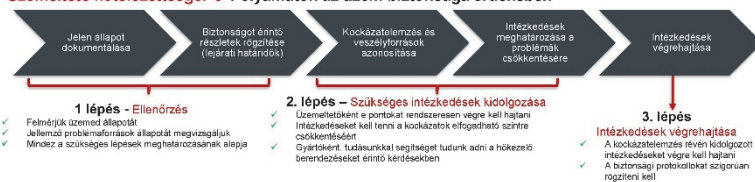


AICHELIN Group | 2022

Page 12

Biztonság – hogyan védj dolgozóidat!

Üzemeltető kötelezettségei → Folyamatok az üzem biztonsága érdekében



Átmeneti intézkedések egy átfogó biztonsági átszervezés előtt

Szervezeti lépések

Konzultációs támogatás

- ✓ Munkafeladatok kiosztása
- ✓ Hozzájárulási szabályok definiálása
- ✓ Jogszabályi körök meghatározása
- ✓ Kockázatelemzés

Személyzeti lépések

Oktatási támogatás

- ✓ Általános biztonsági szempontok
- ✓ Üzem-specifikus biztonsági szempontok
- ✓ Vészhelyzetek esetén
- ✓ Üzemzavarok megelőző kezelése

AICHELIN Group | 2022

Page 13



Diószeghy Zoltán
magyarországi képviselő
+36 20 938 2432
zdio@dpt.hu

Christoph Schneider
Sales Engineer
Mobil : +43 676 83646 365
christoph.schneider@aichelin.com

AICHELIN Group | 2022

Page 14

CODINA: CODINA láncok folyamatos üzemű kemencékhez – a DPT Kft. új képviselte Magyarországon

Diószeghy Zoltán

Aichelin/Codina képviselő, DPT Kft.



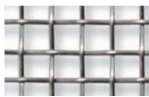
www.codinametal.com

CODINA

A CODINA egy családi alapú spanyol (katalán) vállalat, mely FÉM SZÁLLÍTÓSZALAGOK és HÁLÓK gyártására specializálódott számos ipari ágazatba, sokféle folyamat támogatására.



szállítószalagok



szőtt fém hálók

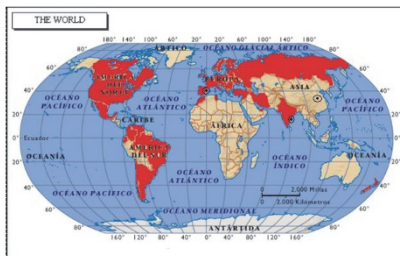


fémzálas/háló szűrők



HELYE A VILÁGBAN

CODINA WORLDWIDE



Központ Barcelona
közelében 10,000 m²-en

Vevők több, mint 40
országban, öt kontinensen

70% hazai piaci rész –
emellett a termelés 70%-a
export

15 mEUR árbevétele (2020)

70 dolgozó



LÁTKÉP

(App. 10.000 m²)

San Juan Bautista, 57 08789 La Torre de Claramunt (Barcelona)



ÜZEM



TANUSÍTVÁNYOK:

ISO 9001 standards, officially certified TÜV CERT - DIN EN ISO 9001

ISO/TS 16949:2002 automotive industry

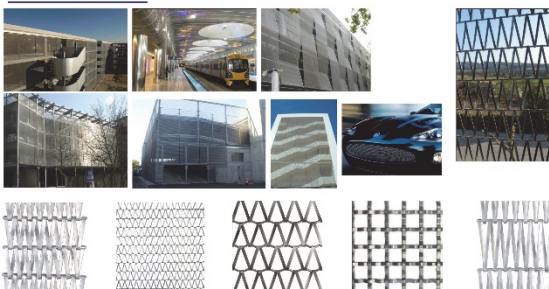
IATF 16949:2016 automotive industry



FŐBB ALKALMAZÁSOK, TERMÉKEK

ÉPÍTÉSZET

ÉPÍTÉSZETI HÁLÓK kül- és beltéri alkalmazások



FŐBB ALKALMAZÁSOK, TERMÉKEK

ÉPÍTÉSZET



Magyarországi referenciák: FTC stadion, Puskás stadion, Illovszky stadion...

FŐBB ALKALMAZÁSOK, TERMÉKEK

ÉPÍTÉSZET

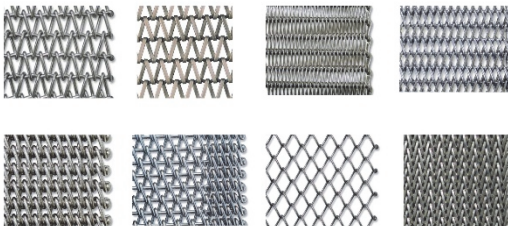


Referenciák világszerte: szállodák, mozik, metrómegálló, víztorony, irodaházak, lakóházak...

FŐBB ALKALMAZÁSOK, TERMÉKEK

HŐKEZELÉS

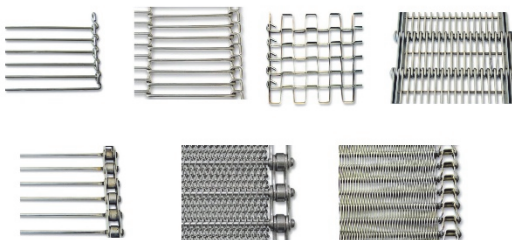
➔ **FÉM SZÁLLÍTÓSZALAGOK** folyamatos üzemi kemencékhez sokféle kivitelben, többféle anyagból, minden szükséges kialakítás szerint



CODINA

FŐBB ALKALMAZÁSOK, TERMÉKEK

HŐKEZELÉS



CODINA

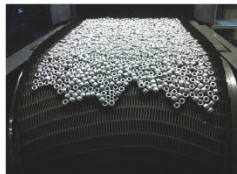
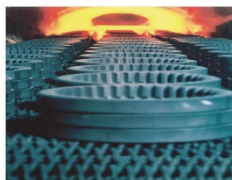
CODINA HŐKEZELŐ ANYAGOK

REFERENCIÁK



CODINA

FELHASZNÁLÁSI TERÜLET: szinterezés



CODINA

FELHASZNÁLÁSI TERÜLET: edzés



CODINA

FELHASZNÁLÁSI TERÜLET: edzés



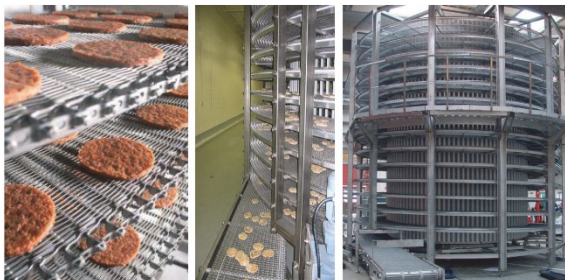
CODINA

FELHASZNÁLÁSI TERÜLET: forrasztás




CODINA

FELHASZNÁLÁSI TERÜLET: hűtés




CODINA

FELHASZNÁLÁSI TERÜLET: üvegipar




CODINA

Magyarországi képviselet

DPT Kft

Diószeghy Zoltán

www.dpt.hu/Codina.html

zdio@dpt.hu

20/938 2432

Betétedzés számítógépes modellezése

Dr. Kuzsella László

Miskolci Egyetem



 **MISKOLCI**
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC

**XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a
Gépgyártásban Országos Konferencia és
Szakkiállítás**

Betétedzés számítógépes modellezése

Dr. Kuzsella László

2022. október 5-6-7., Balatonfüred

Alkalmazott szoftver

 **DEFORM**
Design Environment for FORMing

**Scientific
Forming
Technologies
Corporation** 

18/29

Betétedzett anyagminőség



CSEPELI SZERSZÁMEDZŐ KFT.

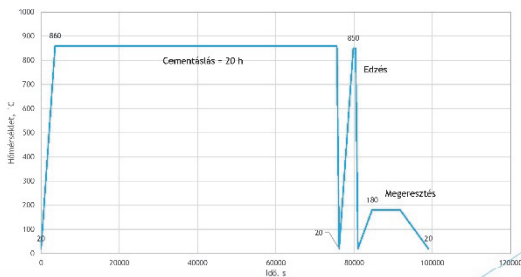
16MnCr5 1.7131 BC3

C	Mn	Cr	Si	S	P
0,14-0,19	1-1,3	0,8-1,1	max 0,4	max 0,035	max 0,025

18/25

Hőmérsékletprofil

Betétedzés = Cementálás + Edzés + Megeresztés



18/25

Egyszerűsített átalakulási egyenlet

Diffúzió esetén

☒ Phase Transformation

Master Phase
 Austenite

Child Phase
 Ferrite

Close
Add
Delete

Transformation

- Austenite -> Ferrite
- Austenite -> Martensite
- Austenite -> Pearlite
- Bainite -> Austenite
- Martensite -> Austenite
- Pearlite -> Austenite**

Kinetics

Heat/Treatment
 Priority
 Drive

Model

Diffusion (Simplified)

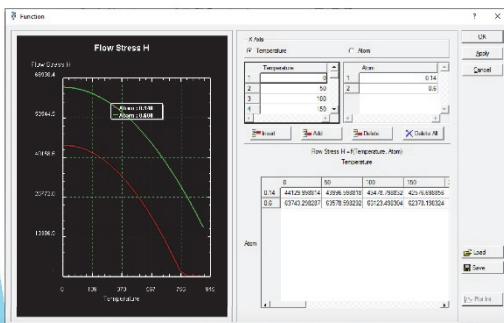
$$C_F = 1 - \exp \left\{ A \left(\frac{T - T_F}{T_F - T_E} \right)^n \right\}$$

Coefficient (A)
 Coefficient (n)
 Start Temperature (T_E)
 End Temperature (T_F)

18/25

Egyszerűsített átalakulási egyenlet

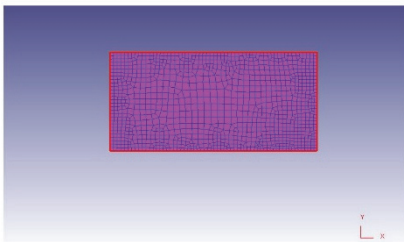
Keményedés hatása



18/25

Hálózás

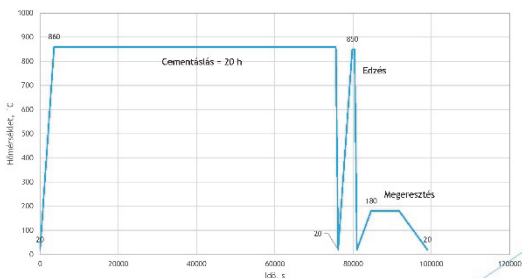
Egyszerű modell, a számítási idő minimalizálására, henger



18/25

Hőmérsékletprofil

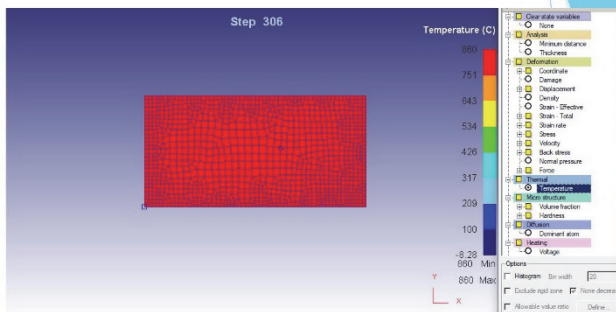
Betétedzés = Cementálás + Edzés + Megeresztés



18/25

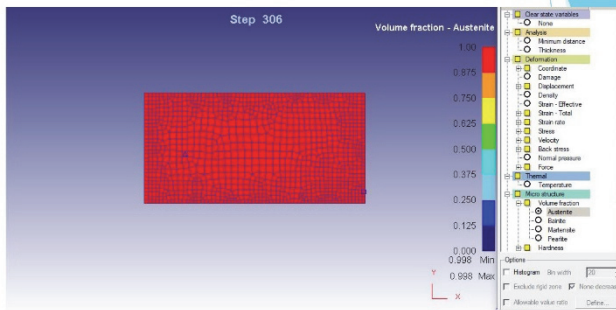
Számítógépes modellezés előnyei

Hőmérséklet eloszlás a cementálás során



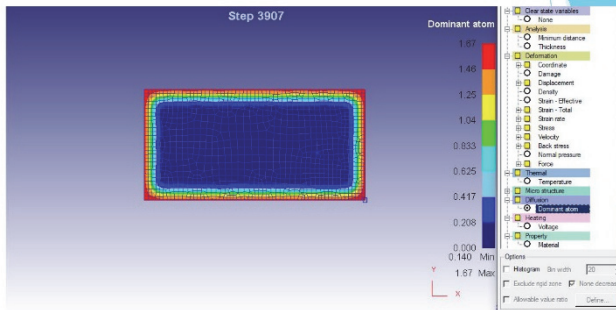
Számítógépes modellezés előnyei

Auszenit mennyisége a cementálás során



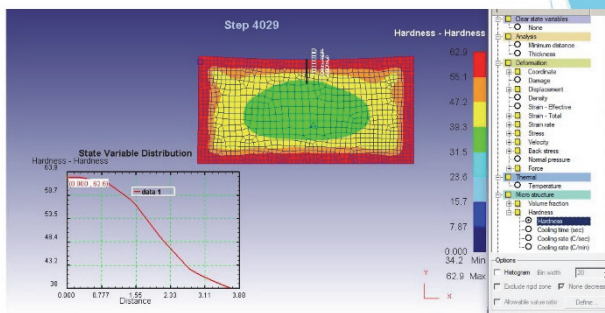
Számítógépes modellezés előnyei

Karbon mennyisége a cementálás után



Számítógépes modellezés előnyei

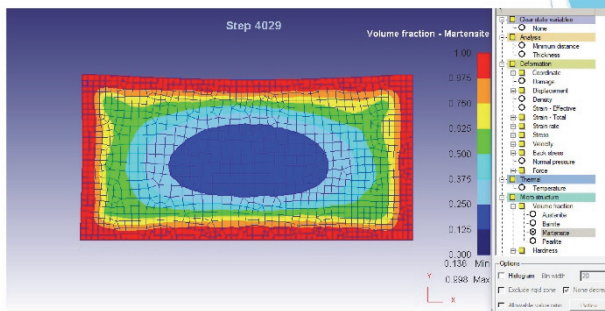
Keménység eloszlás az edzés után, és a keménységprofil



18/25

Számítógépes modellezés előnyei

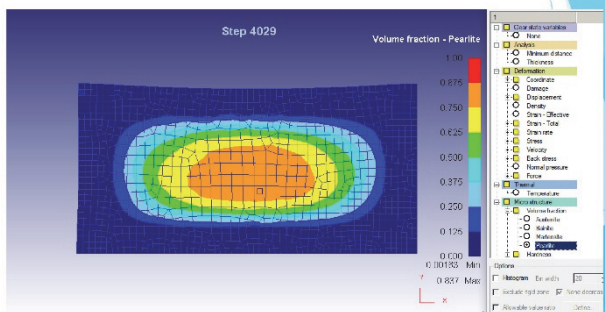
Martenzit mennyisége a cementálás során



18/25

Számítógépes modellezés előnyei

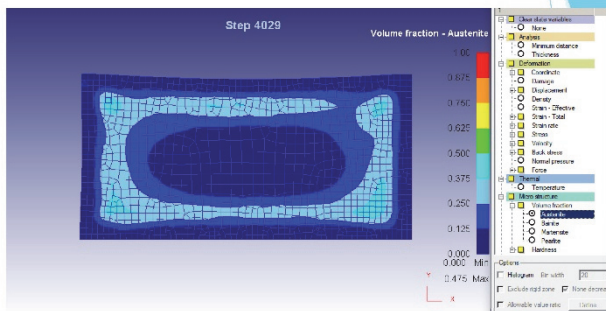
Perlit mennyisége a cementálás után



18/25

Számítógépes modellezés előnye

Auszténit mennyisége cementálást követően

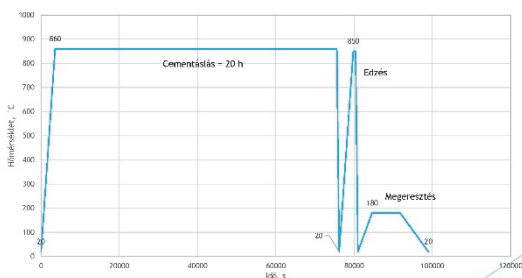


Kevés karbon, minimális mangán, kevés ret. auszténit

18/25

Hőmérsékletprofil

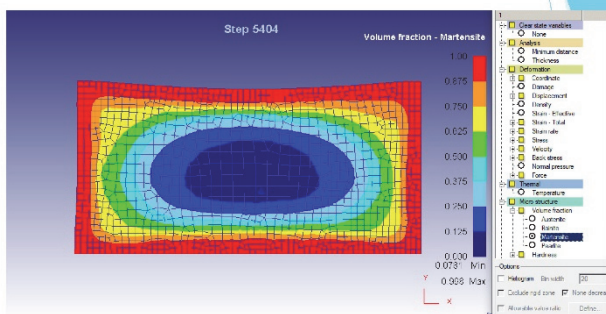
Betétedzés = Cementálás + Edzés + Megeresztés



18/25

Számítógépes modellezés előnye

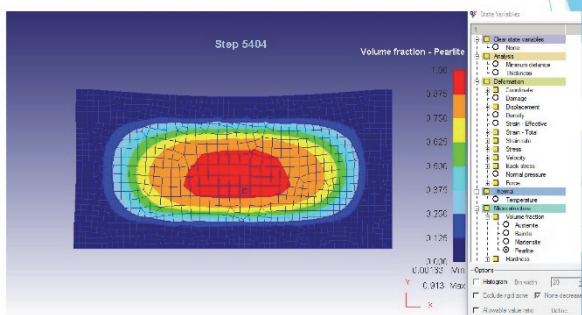
Martenzit mennyisége az edzés + megeresztés után



18/25

Számítógépes modellezés előnyei

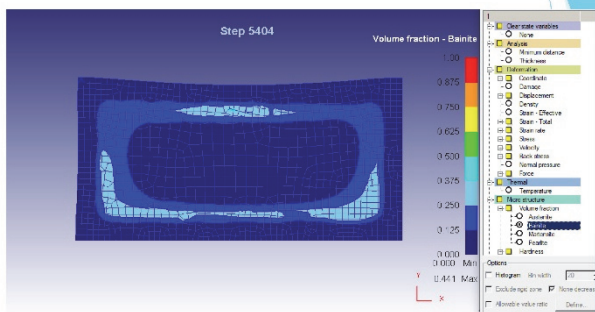
Perlit mennyisége az edzés + megeresztés után



18/25

Számítógépes modellezés előnyei

Bainit mennyisége az edzés + megeresztés után



Bainit, elsősorban a maradék austenit átalakulásából.

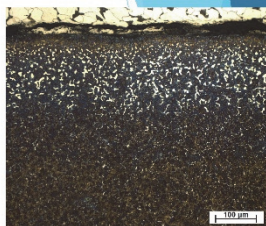
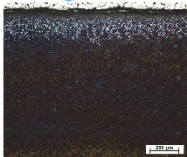
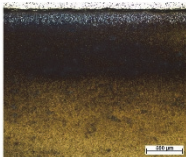
18/25

Betétedzett próbatestek



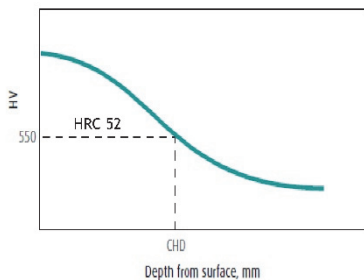
18/25

Mikroszerkezet vizsgálat



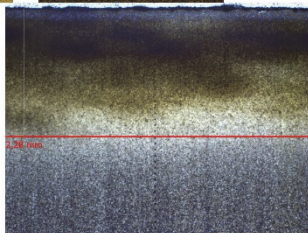
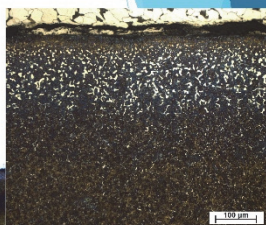
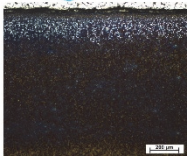
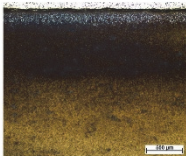
18/25

Cementált rétegvastagság megállapítása



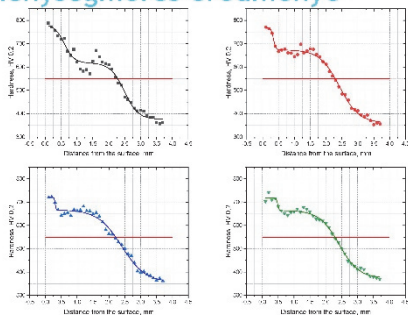
18/25

Mikroszerkezet vizsgálat



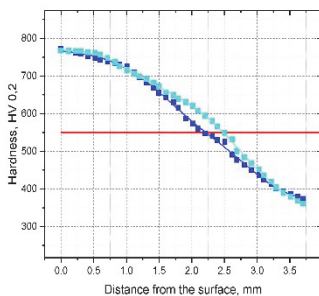
18/25

Keménységmérés eredménye



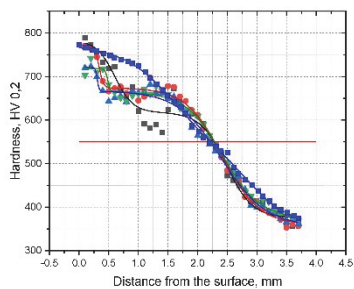
18/25

Számítógépes modellezés eredménye két geometria esetén



18/25

Eredmények összehasonlítása



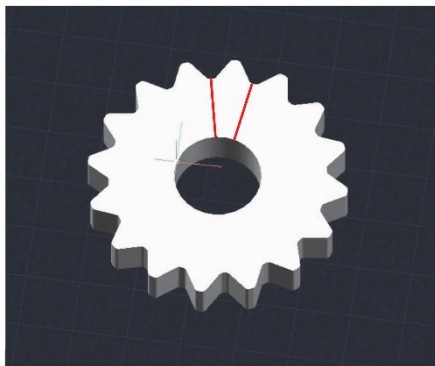
18/25

Valódi alkatrészenen számolva



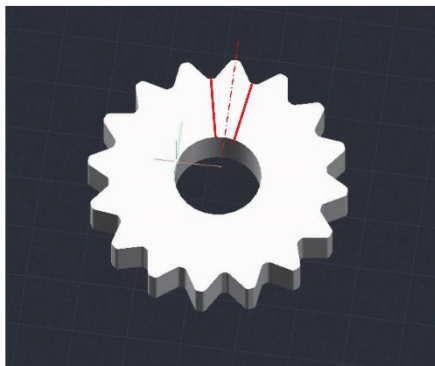
18/25

Valódi alkatrészenen számolva



18/25

Valódi alkatrészenen számolva



18/25

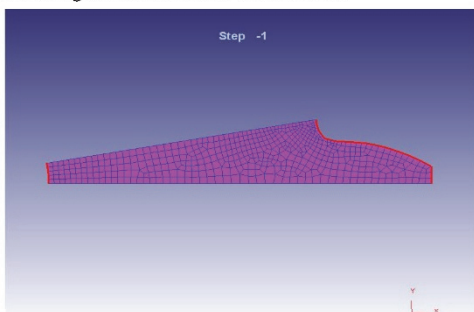
Valódi alkatrészenen számolva



18/25

Valódi alkatrészenen számolva

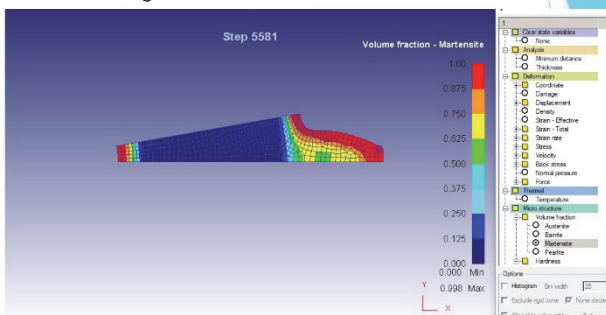
Egyszerűsített geometria modell a hálózással



18/25

Valódi alkatrészenen számolva

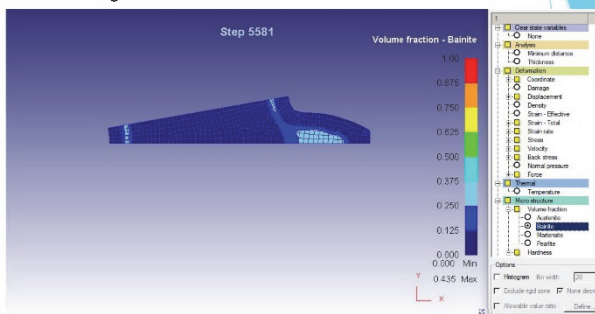
Martenzit eloszlás a fogaskerék részleten



18/25

Valódi alkatrészeken számolva

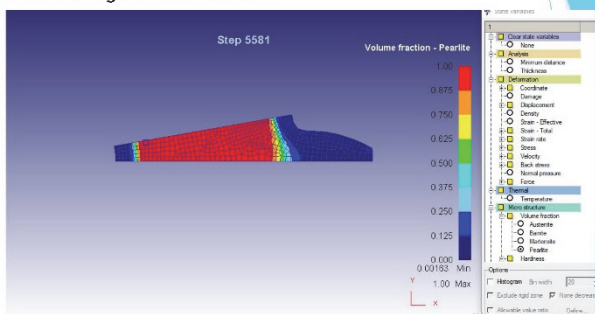
Bainit eloszlás a fogaskerék részleten



18/25

Valódi alkatrészeken számolva

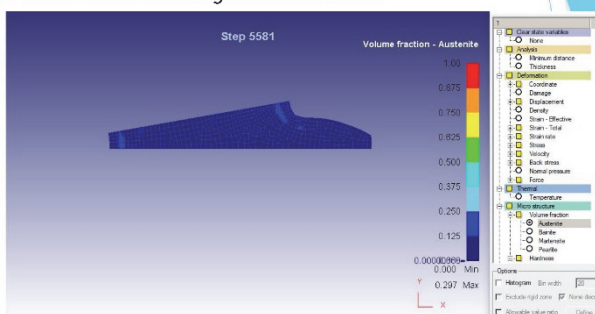
Perlit eloszlás a fogaskerék részleten



18/25

Valódi alkatrészeken számolva

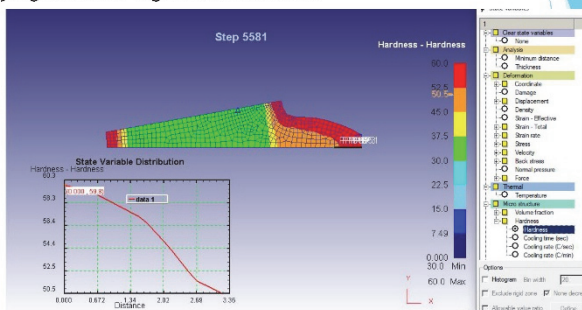
Maradék austenit eloszlás a fogaskerék részleten



18/25

Valódi alkatrészeken számolva

Keménységeloszlás a fogaskerék részletén



18/25

Összefoglalás

- A szoftver nem vesz figyelembe a dekarbonizációt.
- Fogadjuk mindig kritikusán, mérnöki aggyal a numerikus modellezés eredményeit.
- Egy ellenőrző kísérlet soha sem árt.

18/25

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

This research was supported by the 2019-2.1.7-ERA-NET – competition and the ERA-NET COFUND and EJP COFUND programs under the proposal title 'Development of novel concept of engineered layered composites'.

42/25

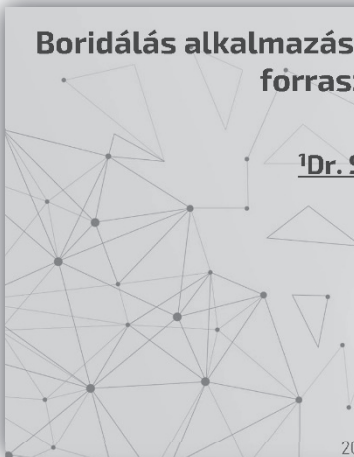
The slide features a white central area with blue geometric shapes on the left and right sides. The text is centered in the white area.

Köszönöm megtisztelő
figyelmüket, várom
kérdéseiket!

Boridálás alkalmazása növelt élettartamú szelektív forrasztószerszámok fejlesztéséhez

Dr. Sályi Zsolt, Dr. Benke Márton

Miskolci Egyetem



Boridálás alkalmazása növelt élettartamú szelektív forrasztószerszámok fejlesztéséhez

¹Dr. Sályi Zsolt, ²Prof. Dr. Benke Márton

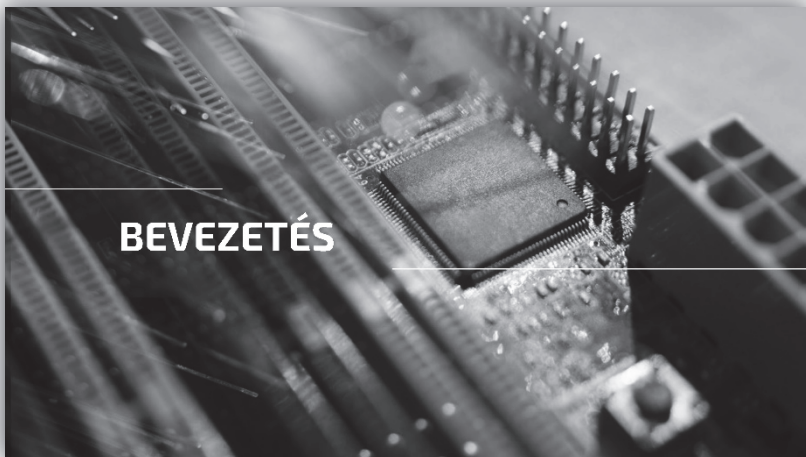
¹Tudományos munkatárs, Miskolci Egyetem, FKNI
²Egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, FKNI

 **MISKOLCI EGYETEM**
UNIVERSITY OF MISKOLC

 **ME-FKNI**
FIZIKAI KÉPLERŐALAKÍTÁS ÉS HÁNTÉCHNOLÓGIAI KUTATÁS

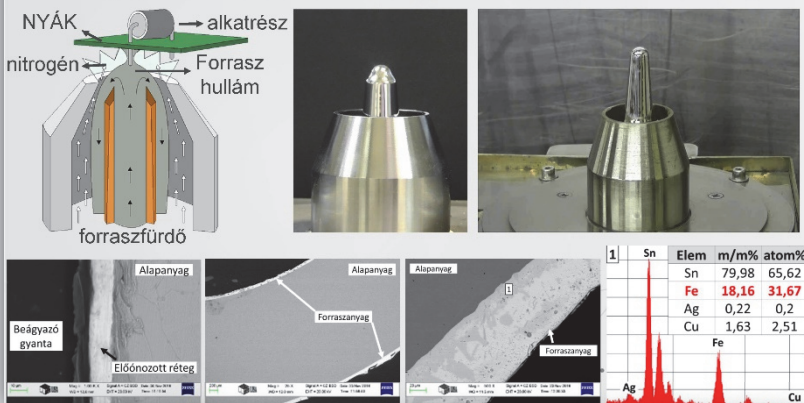
XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás

Balatonfüred
2022. Október 5-7



Az ipari forrasztószerszámok tönkremenetele

6



Az ipari fűvőkákkal szemben támasztott elvárások

Stabil forraszhullám forrasztás alatt

Forraszolvadékokkal szembeni ellenállóság (növelt élettartam)

A szerszám felületének jó nedvesíthetősége

Olcsó gyárthatóság

7

Potenciális szelektív forrasztószerszám élettartam növelő megoldások

Kompozit anyagok alkalmazása: **Pl: Fe-MWCNT**

[J. Watanabe és t.]

Forraszanyag összetételének módosítása
Pl: Co adagolásával

[H. Nishikawa és t.]

Felületvédelem
Pl: Bevonatolás
Termokémiai felületkezelés

[Zs. Sályi és t.]

**Szakirodalom: Kevés megoldás
Nem végleges vagy hosszútávú**

8

A választott felületvédő eljárás

Boridálás (Vas-boridok)

- Kopásállóság, alacsony súrlódási tényező
- Egyenletesen nagy keménység (1000-2700 HV)
- **Magas olvadáspont (kb. 1000°C)**
- **Termikus stabilitás**
- **Hőszokkállóság**
- **Kémiai stabilitás, korrózióállóság (inertitás egyes fémolvadékokkal)**
- **Ridegség**
- **Alacsony törési szívósság**
- **Lassú termokémiai folyamat**

Innováció: A boridálás alkalmazása a forrasztási iparban !

9



ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

Alapanyagválasztás

	C	P	Mn	S	Mo	Ni	V	W	Co	Egyéb
DC04	0,08	0,030	0,40	0,030	-	-	-	-	-	-
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Egyéb
C45	0,45	0,3	0,7	-	-	-	-	-	-	S=0,03
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Egyéb
CK60	0,61	0,3	0,8	-	-	-	-	-	-	S=0,03
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	W	Co	Egyéb
C105U	1,00-1,10	0,10-0,25	0,10-0,25	max 0,020	max 0,020	-	-	-	-	-
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Egyéb
W302	0,39	1,10	0,40	5,20	1,40	-	0,95	-	-	-

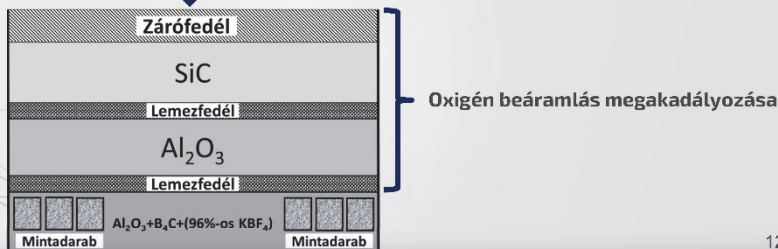
[m/m %]

11

A boridálás paraméterei

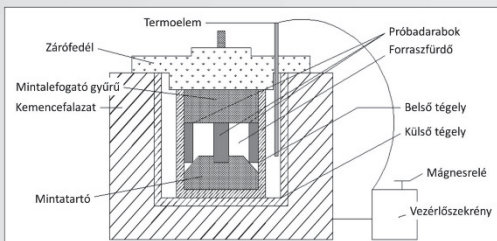
Szilárd, porközegű boridálás ($270\text{g Al}_2\text{O}_3 + 15\text{g B}_4\text{C} + 15\text{g KBF}_4$)

Ellenállás fűtésű kamrás kemence (T: 910°C , t: 3,5 h)

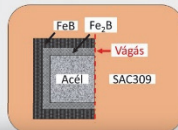


12

Az oldódás szimulációja (40 nap)



SAC309	
Elem	m/m%
Sn	96,0349
Ag	2,85
Cu	0,96
Ni	0,0072
Fe	0,108
Bi	0,0048
Pb	0,0245
Sb	0,0106

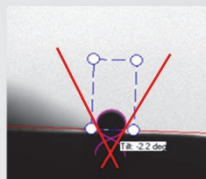


13

A peremszög mérés paraméterei

- Nyugvó csepp módszer (sessile drop method)
- Mosás: 10 m/m%-os NaOH
- Öblítés: Etanol
- Szárítás levegőn
- Fluxálás: INOflux folyasztszerrel
- Olvasztás: $320 \pm 10^\circ\text{C}$ -on 180 s-ig vízszintes csőkemencében
- CCD kamera + KSV szoftver
- (Young Laplace módszer)

Összetevő megnevezése	m/m%
Cink-klorid	< 100
Nátrium-foszfát-dodekahidrát	< 20
Vas(III)-klorid-hexahidrát	< 20
Ammonium-klorid	< 10
Nátrium-fluorid	< 2



- Boridált minták: 300°C -on 2h hőkezelés légtérű kemencében

14

Mikroszerkezet vizsgálatok

Boridált acélok

Fázisazonosítás: (XRD)

SEM-EDAX

PFIB-SEM elemtérkép

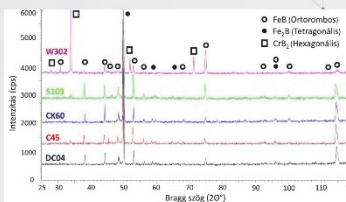
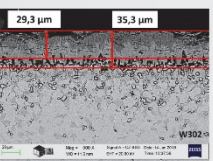
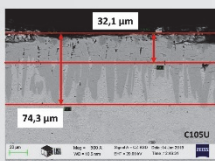
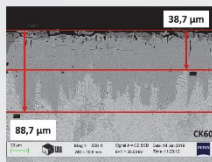
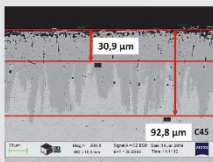
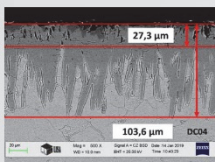
OM



15

EREDMÉNYEK

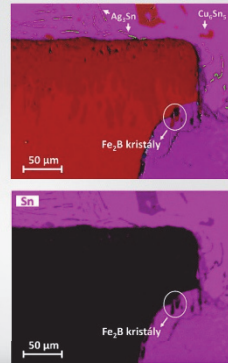
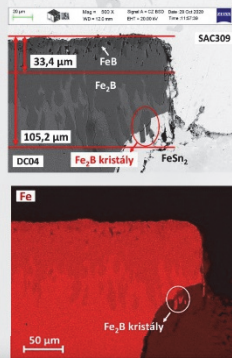
A borid réteg szerkezete



17

A borid réteg oldódása (DC04)

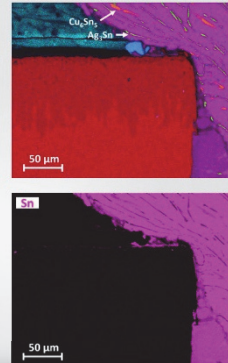
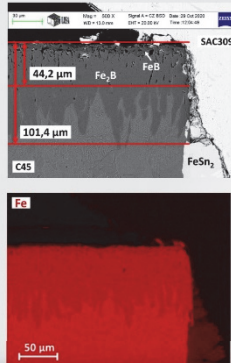
Nincs FeB és Fe₂B beoldódás 40 nap után sem



18

A borid réteg oldódása (C45)

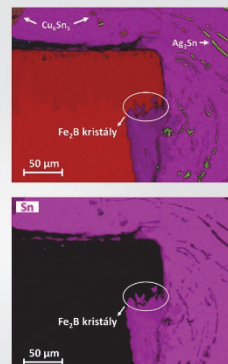
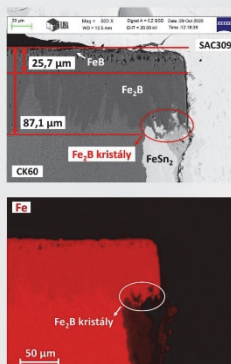
Nincs FeB és Fe₂B beoldódás 40 nap után sem



19

A borid réteg oldódása (CK60)

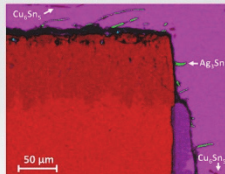
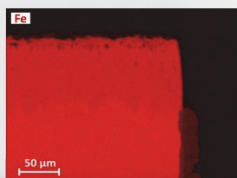
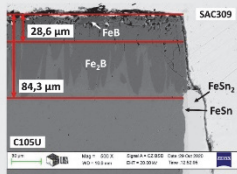
Nincs FeB és Fe₂B beoldódás 40 nap után sem



20

A borid réteg oldódása (C105U)

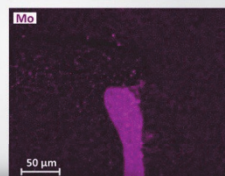
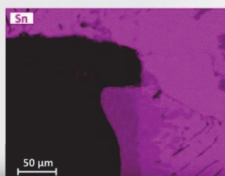
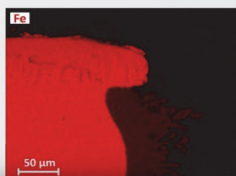
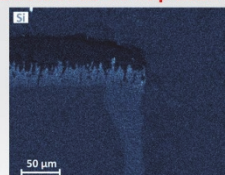
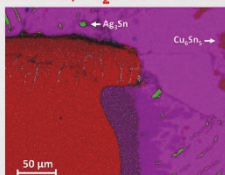
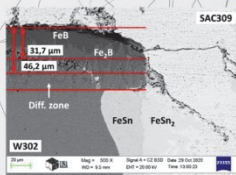
Nincs FeB és Fe_2B
beoldódás 40 nap
után sem



21

A borid réteg oldódása (W302)

Nincs FeB, Fe_2B és diff. zóna beoldódás 40 nap után sem



22

A borid réteg termodinamikai stabilitásának vizsgálata

+ Gibbs energiaváltozás → nem megy végbe kémiai reakció



Reakciók	Standard Gibbs energia változás, kJ/mol
$\text{FeB} + \text{Sn} = \text{FeSn} + \text{B}$	+38,4
$\text{FeB} + 2\text{Sn} = \text{FeSn}_2 + \text{B}$	+32,3
$\text{Fe}_2\text{B} + 2\text{Sn} = 2 \text{FeSn} + \text{B}$	+14,8
$\text{Fe}_2\text{B} + 4\text{Sn} = 2 \text{FeSn}_2 + \text{B}$	+2,6

- Vas-boridok magas olvadáspontja ↔ alacsony forrasztási hőmérséklet
- Várhatóan sokáig ellenálló marad (inertnek tekinthető Sn olvadékban)

23

A borid réteg nedvesíthetősége

Boridált acél	A forraszforgács tömege (g)	Peremszög értékek a nem oxidált mintákon (°)	Peremszög értékek az utóhőkezelés után (°)
DC04	0,0043	20 / 11 / 34 / 33	20
C45	0,0045	23 / 11 / 17 / 57	11
CK60	0,0045	31 / 41 / 19 / 14	30
C105U	0,0049	29 / 60 / 11 / 12	34
W302	0,0053	31 / 22 / 31 / 60	35

Miért-szórnak ennyire az értékek?

11°-60°

11°-35°

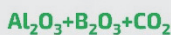


Az utóhőkezelés hatása a boridált acélok forraszolvadékkal való nedvesíthetőségére

- A 2 órás 300°C-os hőkezelés nem elég az FeB fázis eloxidálásához
- Így minden esetben az FeB / SAC309 határfelületen vizsgáltam a nedvesítést
- Az oxidatív hőkezelés megtisztítja a borid réteg felületét a szennyeződésektől

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_4\text{C} + \text{Grafit}$ szemcsék keveréke a mikropedésekben + B_2O_3 réteg

300°C, 2h hőkezelés

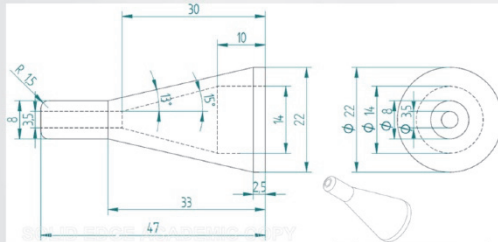


Flux

Illékony gáz

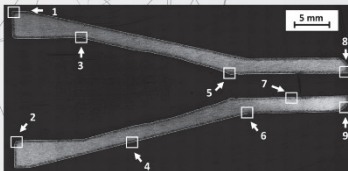
Az ipari
forrasztószerszámok
boridálása és tesztelése

Üreges acél próbatest készítése és boridálása



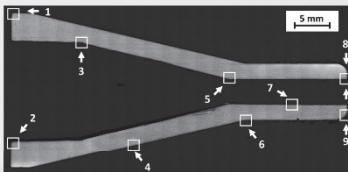
27

A boridált üreges acél próbatest mikroszerkezetének vizsgálata



➡ C45

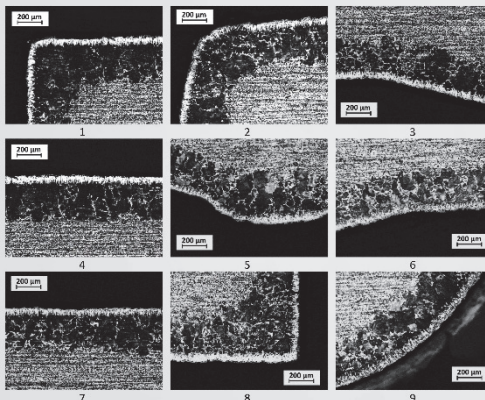
Mozaik felvétel



➡ W302

28

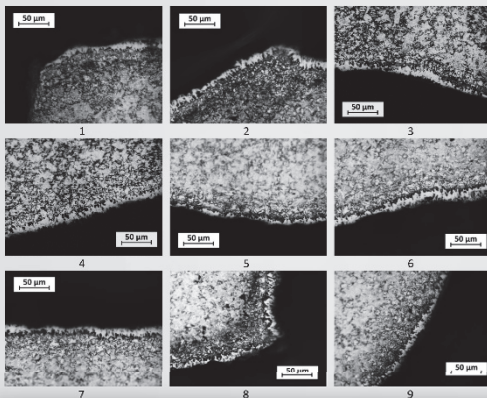
Boridált üreges C45-ös acél próbatest mikroszerkezete



Összefüggő kompakt borid réteg

29

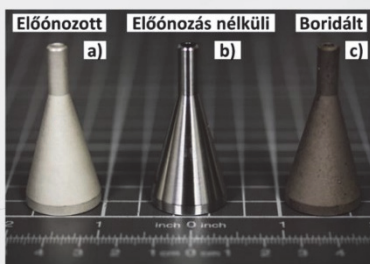
Boridált üreges W302-es acél próbatest mikroszerkezete



Vékonyabb, de összefüggő kompakt borid réteg

30

Az ipari forrasztószerszámok beszerzése és boridálás



Sn	Ag	Cu	Pb
SAC309			
96.10	3.00	0.90	-
SACX0307			
~ 99	0,3+0,15/-0,05	0,70±0,1	Max. 0,1

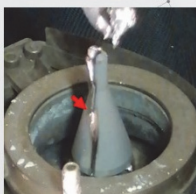
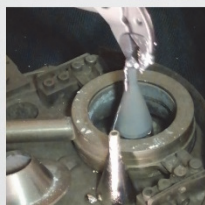
31

A boridált ipari fúvóka tesztelése valós forrasztási körülmények között

Új gyári fúvóka

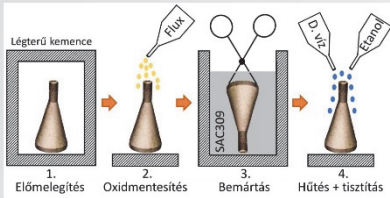


Boridált fúvóka

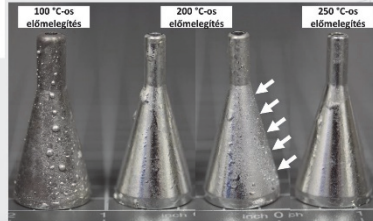


32

A boridált ipari forrasztószerszám felület nedvesíthetőségének javítása



Összetevő megnevezése	m/m%
Cink-klorid	< 100
Nátrium-foszfát-dodekahidrát	< 20
Vas(III)-klorid-hexahidrát	< 20
Ammónium-klorid	< 10
Nátrium-fluorid	< 2



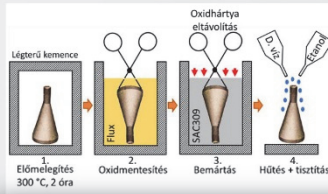
33

A boridált és előőnozott forrasztószerszámok ipari tesztje

Új gyári fűvóka



Boridált előőnozott fűvóka



Boridált előőnozott fűvóka 3 hét folyamatos teszt után

34

A tématerületen megjelent saját publikációk

[1] **Zs. Sályi**, G. Kaplay, D. Koncz-Horvath, L. Somlyai-Sipos, P. Z. Kovacs, A. Lukacs, M. Benke: Boride coatings on steel protecting it against corrosion by a liquid lead-free solder alloy, *MET. MAT. TRANS. B* (bírálat alatt) **Q1**

[2] **Sályi Zsolt**; Benke Márton: Ipari forrasztószerszámok tönkremeneteli mechanizmusa, *ANYAGOK VILÁGA*, Vol. XVI, No. 1, pp. 40-47. (2021)

[3] M. Benke, **Zs. Sályi**; V. Takats, A. Csik, P. Rugoczky, G. Kaplay: The behaviour of steel coated with TiB_2 in Sn-Ag-Cu melt, *MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY* 35: 6 pp. 680-686., 7 p. (2019) **Q1**

[4] **Sályi Zsolt**; Benke Márton: Bevonat nélküli és TiB_2 bevonattal ellátott C45, valamint W302 acélok viselkedése nyugvó SAC forrasztóvadékban, *BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK-KOHÁSZAT* 152. évfolyam 2019/2. szám pp. 37-39. Paper: 0005-5670, 3 p. (2019)

[5] **Sályi Zsolt**; Dr. Kuzsella László; Dr. Benke Márton: Különböző összetételű acél alapanyagok szilárd közegű boridálása szelektív forrasztószerszámok élettartam növelésére, *XXVIII. HŐKEZELŐ ÉS ANYAGTUDOMÁNY A GÉPGYÁRTÁSBAN ORSZÁGOS KONFERENCIA ÉS SZAKKIALITÁS KÜLFÖLDI RÉSZTVEVŐKKEL* pp. 225-231., 7 p. (2019)

[6] Benke M.; **Sályi Zs.**; Kaplay G.: Investigation of dissolution resistance of blank and gas-nitrided carbon steels in stationary SAC305 solder alloy melt, *J. MIN. AND MET. SECT. B-MET. SECT.* 54: 3 pp. 283-290., 8 p. (2018) **Q2**

[7] Benke Márton; **Sályi Zsolt**; Rugoczky Péter: TiB_2 bevonattal ellátott C45 típusú acél viselkedése nyugvó SAC309 forrasztóvadékban, *BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK-KOHÁSZAT* 15: 3 pp. 24-26., 3 p. (2018)

[8] **Zsolt Sályi**; Zsolt Veres; Péter Baumli; Márton Benke: Development of nitrided selective wave soldering tool with enhanced lifetime for the automotive industry, *LECTURE NOTES IN MECHANICAL ENGINEERING* F12 pp. 187-195., 9 p. (2017)

35

Köszönetnyilvánítás

- **Dr. Benke Márton**
- **Dr. Mertinger Valéria**
- **Dr. Kaptay György:** Termodinamikai számítások, eredmények publikálása

- **Dr. Kovács Péter Zoltán, Dr. Kuzsella László, Bartók András** (Anyagszerkeztetani és Anyagtechnológiai Intézet): Boridáló hőkezelések
- **Dr. Lukács Attila, Dr. Tóth László, Csonka Norbert** (Flextronics International Kft.): Boridált fűvókák ipari tesztelése
- **Kovács Árpád, Dr. Koncz-Horváth Dániel:** Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok
- **Dr. Baumli Péter, Somlyai-Sipos László:** Peremszög mérések
- **Márkus Zoltán, Boda Sándor:** Oldódási szimulátor megalkotása, mintakivágás és megmunkálás
- **Márkus Zoltánné, Bodnárné Nyári Napsugár:** Mintaelőkészítés

Köszönöm a Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, valamint a debreceni Atommagkutató Intézet valamennyi dolgozójának, hogy biztosították számomra a méréseimhez szükséges eszközöket, gépeket

36

Köszönöm a figyelmet !



femsalyi@uni-miskolc.hu



+36 70 395 25 57



Gradiens szintaktikus fémhabok effektív rugalmassági- és nyírómodulusza

Kemény Alexandra^{1,2}, Iklódi Zsolt³, Bubonyi Tamás⁴,
Leveles Borbála², Károly Dóra^{1,2}, Orbulov Imre Norbert^{1,2}

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

² MTA-BME Lendület Kompozit Fémhabok Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

³ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Műszaki Mechanikai Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

⁴ Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc Egyetemváros

Absztrakt

A változó sűrűségű fémhabok nemhomogén anyagok, amelyek viselkedésének jobb megértése érdekében szabványos mérésel meghatározhatók a nyomó mechanikai tulajdonságok. Azonban tisztán a rugalmas tulajdonságok, mint például a rugalmassági és nyírási moduluszok vizsgálata cellás anyagoknál nincs így meghatározva. A hagyományos anyagvizsgálatokhoz képest a dinamikus vizsgálati módszerek fő előnye a roncsolásmentesség, ami kényelmessé teszi fémhabok vizsgálatát és anyagparamétereik azonosítását. A kísérletekhez, változó sűrűségű alumínium mátrixú (AlSi10MnMg) szintaktikus fémhab hasábokat állítottunk

elő kisnyomásos infiltrálással, amelyeket a szilárdság növelése érdekében hőkezeltünk. A legyártott próbatesteken különböző rögzítési konfigurációkkal modális analízist végeztünk impulzusgerjesztéssel, hogy megmérjük az első két hajlítási és az első torziós sajátfrekvenciájukat és ezen modális paraméterekből meghatározzuk az anyag rugalmassági és nyíró moduluszait egy paraméterillesztési sémával. Az alkalmazott paraméterillesztési technikánk a Timoshenko elméleten alapul, amely kiterjeszhető inhomogén sűrűségű vagy keresztmetszetű gerendákra is a mozgásegyenlet közvetlen numerikus megoldásával. A javasolt módszert összehasonlítottuk az ASTM-E1876-21 szabvány szerint kapott eredményekkel.

1. Bevezetés

A cellás anyagok ipari alkalmazása növekszik, és ezzel a különböző fémhabok tulajdonságainak beállíthatóságára való igény is. Ez az igény célszerűen a szerkezet valamely dimenziója mentén a sűrűség változtatásával érhető el [1,2]. Megkülönböztetünk nyílt- és zártcellás fémhabokat, amely utóbbi speciális típusa a szintaktikus fémhabok csoportja. A szintaktikus fémhabokban a cellákat üreges vagy porózus töltőanyag adagolásával érhetjük el, amelyek általában kerámia

vagy a mátrixnál nagyobb olvadáspontú fémek lehetnek. A mátrixanyag befoglalja a töltőanyagot, ezzel kompozit szerkezet jön létre. Leggyakrabban valamilyen könnyűfém (Mg, Al) vagy Ti, Zn, Fe a mátrix anyaga [3–7]. A sűrűség változtatása elérhető eltérő anyagú (és így sűrűségű) töltőanyagok különböző arányú keverésével, azonban az ilyen inhomogén anyagok viselkedésének feltérképezése más megközelítést igényel, komplexebb vizsgálatokat szükséges elvégezni. Főként mechanikai úton vizsgáltak korábban radiális irányban változó sűrűségű fémhabokat [8], többféle töltőanyagot rétegesen tartalmazó fémhabokat [2,9–13] és hosszmentén változó sűrűségű fémhabokat is [1]. A fémmátrixú cellás anyagok egyetlen szabványos mérési módszerén, azaz zömítővizsgálaton (ISO13314:2011) [14] túl, szükséges további módszerek kidolgozása. Ennek megfontolásával, a jelen kutatásban dinamikus vizsgálati módszerrel teszünk kísérletet a változó sűrűségű (gradiens) szintaktikus fémhabok effektív rugalmassági moduluszának (E) és effektív nyírómoduluszának (G) meghatározására.

A hagyományos anyagvizsgálati módszerekkel szemben a dinamikus mérési eljárások roncsolásmentes vizsgálatok, amelyek számos előnyt hordoznak magukban. Egyrészt kutatási szempontból a mérés után ugyanazon a mintán még végrehajthatók roncsolásos vizsgálatok, másrészt ipari szempontból sorozatgyártás esetén, egy adott alkatrész tulajdonságai egyszerűen megvizsgálhatók, biztosítva a minőséget. Modális analízissel egy alkatrész dinamikai tulajdonságai határozhatók meg, mint például sajátfrekvenciái, csillapításai, lengésképei, amelyek közül a legfontosabb a rezonanciaproblémák elkerülése végett a sajátfrekvenciák pontos meghatározása. Ismert geometriájú, tömegeloszlású és anyagú monolit alkatrészek esetén ezek a jellemzők analitikus vagy végeselemes úton is kiszámíthatók, a mérési eredményeket felhasználva pedig eredetileg ismeretlen anyagjellemzők becsülhetők [15,16].

2. Felhasznált anyagok és módszerek

A fémhabokat kisnyomásos infiltrálással állítottuk elő, amely módszer részletes leírása korábbi publikációinkban szerepel [17–19]. Mátrixanyagként AlSi10MnMg (Silafont-36) alumínium ötvözetet használtunk, töltőanyagként pedig globomet (Hollomet GmbH) vasgömbhéjakat (VGH) és duzzasztott agyagkavics (DAK) részecskéket választottunk Ø2,5–3,0 mm mérettartományban. A sűrűség változtatását mindkét töltőanyagú mintában Ø2,0–3,0 mm méretű alumínium granulátum adagolásával érték el. A gyártás során alkalmazott infiltrálási paramétereket az 1. táblázat tartalmazza. A VGH mintáknál kisebb előmelegítést kellett alkalmazni, ezzel elkerülve a vasgömbhéjak lágyulását. Ugyanakkor nagyobb olvadákhőmérsékletre volt szükség, hogy az infiltrálás megvalósulhasson és ne fagyjon be az olvadék. Emellett ezen mintáknál elengedhetetlen a gyors hűtés alkalmazása, hogy elkerüljük az olvadt alumínium nagymértékű reakcióját a vasgömbhéjakkal, amely során az alumínium átlukasztaná a gömbhéjak falát, és nem tudna létrejönni a cellás szerkezet.

1. táblázat – Az infiltrálás paraméterei

	Előmelegítési hőmérséklet	Előmelegítési idő	Olvadék- hőmérséklet	Infiltrálási nyomás	Infiltrálási idő
VGH	300°C	60 min	800°C	5 bar	10 s
DAK	600°C	45 min	750°C	5 bar	10 s

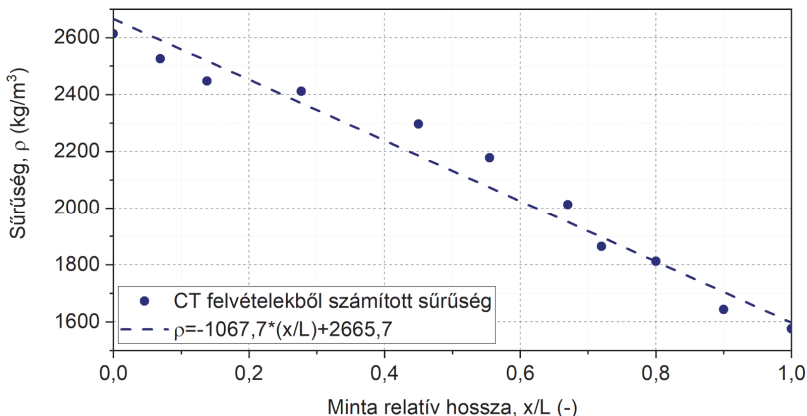
A kimunkált hasáb próbatesteket hőkezeltük az alapanyaggyártó által előírt hőmérsékleteken a következő módon. Oldó hőkezelés során a mintákat 535°C-ra hevítettük 300°C/h hevítési sebességgel, majd 4 órán át hõn tartottuk. Ezt követte egy gyors hûtés vízben, majd mesterséges öregítés lépésben 150°C/h hevítési sebességgel 150°C-ot elérve 15 órán át történõ hõntartás következett.

A mintákon ezután geometriai méréseket (Absolute Digimatic tolómérõ, Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japán) és tömegmérést (APX-200 precíziós tömegmérõ, Denver Instrument, Inc., Denver, CO, USA) végeztünk, így meghatároztuk azok látszólagos sűrűségét (2. táblázat). A próbatestek jelölésénél megadott számok a töltőanyag alumínium granulátumhoz képesti százalékos mennyiségét mutatják. Ezáltal a „0-100” jelölés az egyik végén nincs töltőanyag, míg a másik végén véletlenszerű sűrű térkitöltésben található meg a töltőanyag a mátrixban, adagolt alumínium granulátum nélkül. A változó térkitöltésű mintának lokális helyeken a sűrűségét CT vizsgálattal határoztuk meg egy YXLON FF35 berendezés (XYLON International, Hamburg, Németország) segítségével a Miskolci Egyetem 3D laborjában, majd sűrűségfüggvényt illesztettünk a mért adatokra (1. ábra).

2. táblázat – Vizsgált minták fizikai tulajdonságai

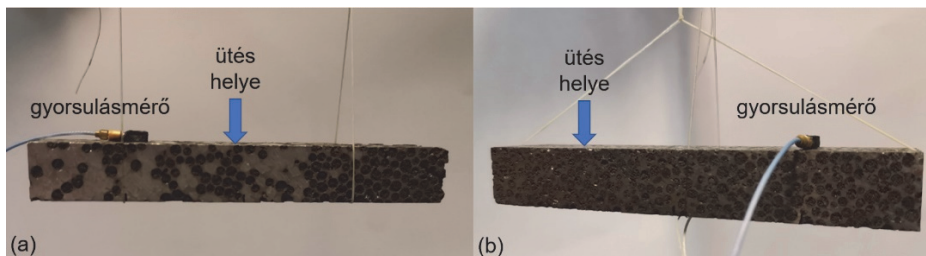
Próbatest neve	a (mm)	b (mm)	c (mm)	m (g)	$\rho_{\text{lát}} (\text{kg/m}^3)$
0-100 DAK	14,95	24,87	110,38	75,69	1844
50 DAK	15,03	25,01	109,64	82,56	2003
100 DAK	16,20	24,28	109,72	62,48	1448
100 VGH	14,94	24,90	97,14	58,47	1618

Az effektív rugalmassági- és nyírómoduluszt modális analízissel vizsgáltuk, mivel az többletinformációt ad a szabványos zömítővizsgálathoz képest, hiszen a kis gerjesztő erők miatt tisztán rugalmas alakváltozás vizsgálható. További előnye, hogy könnyen megismételhető és roncsolásmentes módszer. A mérés során a leggyakrabban használt impulzus gerjesztési módszert alkalmaztuk, amely ideális esetben a teljes mért frekvenciaskálán egyenletes gerjesztést biztosít.



1. ábra – A próbatest különböző metszetein mért töltőanyagmennyiségből számított sűrűség, és az illesztett sűrűségfüggvény

A legyártott próbatesteket különböző rögzítési konfigurációkkal vizsgáltuk (2. ábra), hogy megmérjük az első két hajlítási sajátfrekvenciájukat és az első torziós sajátfrekvenciájukat. Mivel ezek a modális paraméterek közvetlen korrelációban állnak az anyag rugalmassági és nyírási modulusaival, ezért munkánk során meglévő paraméterillesztési sémák alkalmazásával és újak bevezetésével további információkat szolgáltatunk a habokról. Minden esetben rugalmas damillal függesztettük fel a mintákat és egy Brüel & Kjær 8021 mikro modális kalapáccsal (Brüel & Kjær, Nærum, Dánia) adtuk rájuk az impulzus gerjesztést, amelyre az adott választ egy PCB 352C23 gyorsulásmérővel (PCB Piezotronics, Depew, NY, USA) gyűjtöttük. Az adatgyűjtést egy NI 9234 és egy NI cDAQ-9178 modullal (National Instruments, Austin, TX, USA) végeztük. Minden próbatesten, mindkét rögzítési konfigurációban 3-3 mérést végeztünk, és ezek eredményeit átlagoltuk.



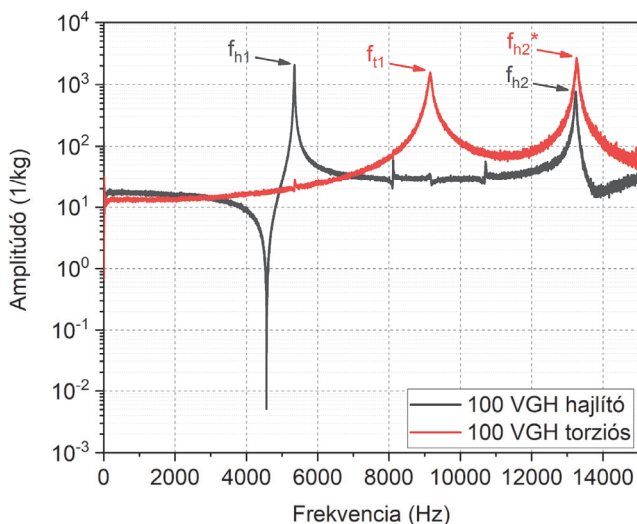
2. ábra – Rögzítési konfigurációk a hajlítási (a) és a torziós (b) sajátfrekvenciák meghatározására

A kiértékelés során két elmélet alapján dolgoztunk. A szerzők új paraméterillesztési technikája a Timoshenko rúdelméleten alapul [20,21] és egy korábbi publikációban részletesen beszámoltunk róla [17]. A számítások elvégzéséhez az első két hajlítási sajátfrekvenciát szükséges használni, azaz egy rögzítési konfigurációban elvégezhető a mérés. Ez a módszer kiterjeszthető inhomogén sűrűségű vagy inhomogén keresztmetszeti geometriájú hasábokra is; ehhez azonban a mozgásegyenlet közvetlen numerikus megoldása szükséges, amelyhez Chebyshev polinombázisú spektrál kollokációt alkalmaztunk [22].

Jelen kutatásban az illesztési módszert az ASTM E1876-21 szabványban bejegyzett, széleskörben elterjedt eljárással hasonlítottuk össze több fémhab próbatesten [23]. Ez a szabványosított módszer az első hajlítási sajátfrekvenciát és az első torziós sajátfrekvenciát használja a paraméterillesztéshez.

3. Eredmények

A 3. ábra egy-egy jellegzetes hajlító és torziós frekvenciaspektrumot mutat be. Megfigyelhető, hogy a második hajlító sajátfrekvencia megjelenik mindkét mérésnél (f_{h2} és f_{h2}^*) valamint, hogy a mért sajátfrekvencia értékekig a mérés szűrés nélkül is kis zajjal elvégezhető. Előbbinek oka, hogy a hajlítási frekvenciák meghatározásához tartozó felfüggesztésnél (2. ábra (a)), a felhasznált damil nagyban gátolja a torziós lengéseket, így a mért frekvencia átviteli függvényekben csak a hajlító lengésekhez tartozó csúcsok láthatók. Ezzel szemben az első torziós frekvencia meghatározásánál (2. ábra (b)), az első hajlító lengéskép egy csomópontjában gerjesztünk, így az nem jelenik meg a grafikonon, a második viszont már igen.



3. ábra – A 100 VGH minta egy-egy jellemző mérési eredménye

A mérések átlagértékeit, valamint mind a Timoshenko elmélet, mind a szabvány szerint kiszámított rugalmassági- és nyírómoduluszt (Timoshenko elméletnél a kappa korrekciós tényező szorzatát) mutatja a 3. táblázat. Homogén téglalap keresztmetszetű rudak esetében ez a korrekciós tényező $\kappa \approx 5/6$, azonban ez a becslés kompozit anyagokra nem általánosítható.

3. táblázat – A leolvasott sajátfrekvenciák és a meghatározott rugalmassági mérőszámok

Próbatest neve	f_{h1} (Hz)	f_{h2} (Hz)	f_{t1} (Hz)	f_{h2}^* (Hz)	E_{Tim} (GPa)	κG_{Tim} (GPa)	E_{st} (GPa)	G_{st} (GPa)
0-100								
DAK	3329,97	7785,62	6743,95	7832,66	18,08	2,27	18,21	7,12
50 DAK	3692,88	9445,56	7846,10	9485,89	18,35	10,12	18,75	8,94
100 DAK	4586,69	11253,36	8713,04	11260,08	18,77	5,23	17,95	7,42
100 VGH	5352,82	13249,33	9156,59	13276,21	19,95	8,59	20,40	7,73

A fenti adatokból látszik, hogy a két felfüggesztésből adódó második hajlító sajátfrekvenciák közel azonosak. A kis eltérések oka a rögzítési konfigurációban keresendő, mivel a kereszt elrendezés (2. ábra (b)) jobban korlátozza a második szabad lengésképet. A rugalmassági moduluszok a két számítási módszerrel hasonló értéket adnak, a nyírómoduluszok viszont egyszerűen nem hasonlíthatók össze, mivel a korrekciós tényező habszerkezetekre nem ismert. A 0-100 DAK mintánál további korrekciót alkalmazva az inhomogenitás figyelembevételével, a következő értékeket kapjuk: $E_{Tim-corr} = 17,78$ GPa, és $\kappa G_{Tim-corr} = 2,29$ GPa.

4. Következtetések

Modális mérések alkalmazásával szintaktikus és változó sűrűségű fémhabok rugalmas tulajdonságai is meghatározhatók. Ezzel a roncsolásmentes eljárással többletinformációkat tudunk meg a habszerkezetű alkatrészekről, tervezéshez és fémhabok végeselemes modellezéséhez is bemeneti adatokkal szolgálhatunk. Az alkalmazott Timoshenko rúd elméleten alapuló paraméterillesztés közel azonos eredményeket ad, mint a szabványos

eljárással meghatározott rugalmas tulajdonságok, azonban képes figyelembe venni a rúd inhomogenitásait, így habszerkezetekre pontosabban alkalmazható, amennyiben valamilyen más mérési eljárással (például CT vizsgálattal párosítva), meg tudjuk határozni a minta sűrűségfüggvényét.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció a Kulturális és Innovációs és Minisztérium ÚNKP-22-3-II-BME-103 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. Ezt a munkát részben a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatta, az OTKA-FK_21 138505 támogatási szerződés keretében.

Irodalom

- [1] **Yi Z - Si-yuan H - Jia-gui L - Wei Z - Xiao-lu G - Jin Y:** Density gradient tailoring of aluminum foam-filled tube. *Compos Struct* 2019;220:451–9.
- [2] **Movahedi N - Vesenjak M - Krstulović-Opara L - Belova IV - Murch GE - Fiedler T:** Dynamic compression of functionally-graded metal syntactic foams. *Compos Struct* 2021;261:113308.
- [3] **Jha N - Mondal DP - Goel MD - Majumdar JD - Das S - Modi OP:** Titanium cenosphere syntactic foam with coarser cenosphere fabricated by powder metallurgy at lower compaction load. *Trans Nonferrous Met Soc China* 2014;24:89–99.
- [4] **Weise J - Lehmhus D - Baumeister J - Kun R - Bayoumi M - Busse M:** Production and properties of 316L stainless steel cellular materials and syntactic foams. *Steel Res Int* 2014;85:486–97.
- [5] **Nguyen QB - Sharon Nai ML - Nguyen AS - Seetharaman S - Wai Leong EW - Gupta M:** Synthesis and properties of light weight magnesium-cenosphere composite. *Mater Sci Technol (United Kingdom)* 2016;32:923–9.
- [6] **Linul E - Lell D - Movahedi N - Codrean C - Fiedler T:** Compressive properties of zinc syntactic foams at elevated temperatures. *Compos Part B Eng* 2019;167:122–34.
- [7] **Opiela KC - Zieliński TG - Dvorák T - Kúdela S:** Perforated closed-cell aluminium foam for acoustic absorption. *Appl Acoust* 2020;174.
- [8] **Yi Z - Xiao-yun Z - Ke W - Si-yuan H - Jia-gui L - Wei Z - et al.:** Fabrication of functionally radial graded metallic foam. *Mater Lett* 2020;264:127292.
- [9] **Salehi M - Mirbagheri SMH - Ramiani AJ:** Efficient energy absorption of functionally-graded metallic foam-filled tubes under impact loading. *Trans Nonferrous Met Soc China (English Ed)* 2021;31:92–110.
- [10] **Huang W - Liu G - Li H - Wang F - Wang Y:** Compressive properties and failure mechanisms of gradient aluminum foams prepared by a powder metallurgy method. *Metals (Basel)* 2021;11.
- [11] **Movahedi N - Murch GE - Belova IV - Fiedler T:** Functionally graded metal syntactic foam: Fabrication and mechanical properties. *Mater Des* 2019;168:107652.
- [12] **Movahedi N - Vesenjak M - Krstulović-Opara L - Belova IV - Murch GE - Fiedler T:** Dynamic compression of functionally-graded metal syntactic foams. *Compos Struct* 2021;261.
- [13] **Movahedi N - Conway S - Belova IV - Murch GE - Fiedler T:** Influence of particle arrangement on the compression of functionally graded metal syntactic foams. *Mater Sci Eng A* 2019;764:138242.

- [14] **ISO13314:2011**: Mechanical testing of metals - Ductility testing - Compression test for porous and cellular metals 2011.
- [15] **Szlanicsik A - Katona B - Dombóvári Z - Orbulov IN**: On the effective Young's modulus of metal matrix syntactic foams. *Mater Sci Technol* 2017;33:2283–9.
- [16] **Kádár C - Szlanicsik A - Dombóvári Z - Orbulov IN**: Monitoring the failure states of a metal matrix syntactic foam by modal analysis. *Mater Lett* 2019;257:126733.
- [17] **Károly D - Iklódi Zs - Kemény A - Kincses DB - Orbulov IN**: Production and Functional Properties of Graded Al-Based Syntactic Metal Foams. *Metals (Basel)* 2022;12:263.
- [18] **Kemény A - Leveles B - Bubonyi T - Orbulov IN**: Effect of particle size and volume ratio of ceramic hollow spheres on the mechanical properties of bimodal composite metal foams. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2021;140:106152.
- [19] **Kemény A - Leveles B - Kincses DB - Károly D**: Manufacturing and Investigation of In Situ and Ex Situ Produced Aluminum Matrix Foam-Filled Tubes. *Adv Eng Mater* 2022;24:2100365.
- [20] **Geist B - McLaughlin JR**: Asymptotic Formulas for the Eigenvalues of the Timoshenko Beam. *J Math Anal Appl* 2001;253:341–80.
- [21] **van Rensburg NFJ - van der Merwe AJ**: Natural frequencies and modes of a Timoshenko beam. *Wave Motion* 2006;44:58–69.
- [22] **Trefethen LN**: Chebyshev Differentiation Matrices. *Spectr. Methods MATLAB*, 2000, p. 51–9.
- [23] **ASTM E 1876-01**: Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration 2021.

Gépi tanulási modellek alkalmazása acélok megeresztési technológiájához

Applying machine learning models on steel tempering technologies

Biczó Zoltán Bálint¹, Dr. Felde Imre¹, Oscar Zappata²,
Kovács Levente¹

¹ Óbuda University Budapest, Hungary

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexico

Abstract

The aim of tempering operation is to increase toughness characteristics of steels. The hardness of the as quenched component decreases during tempering. The hardness after tempering depends on the heat treatment parameters, i.e. the tempering temperature and the soaking time. In this paper a method based on machine learning to estimate hardness is highlighted.

Bevezetés

Az acélok megeresztési hőkezelési műveletének célja az edzés utáni rideg martenzites szövetszerkezet olyan módon való megváltoztatása, mely a dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállás és a szívósság növekedését eredményezi.

A megeresztő hőkezelés során adott hőmérsékletre hevítjük az alkatrészt, majd megfelelő ideig ezen a hőmérsékleten tartjuk és azt követően lehűtjük. A megeresztés utáni mechanikai tulajdonságok a hőmérséklet és a hőtartási idő függvényében változnak, jellemzően a keménység csökken és a szívóssági tulajdonságok növekszenek.

Mint ismeretes, a kisebb megeresztési hőmérsékleteknél és rövidebb hőtartási idő alatt a keménységsökkenés mértéke kicsi, ezzel párhuzamosan pedig a képlékenység- illetve szívósság kevésbé növekszik.

Adott idejű megeresztéseknél, a megeresztési hőmérséklet jelentős növelésénél, a keménységsökkenés és a szívósság növekedése számottevő mértékben változik.

A megeresztési művelet során kialakuló keménység számítására számos modell fejlesztettek az elmúlt három évtizedben [1-3]. Ezeknek a modelleknek a sajátossága, hogy az acél összetételének, előzetes hőkezelési jellemzőinek, valamint a megeresztési paramétereknek az

Absztrakt

Az acélok edzését követő megeresztési hőkezelési művelet során a szívóssági jellemzők növekednek, míg a keménység értéke csökken. A megeresztett keménység hőkezelési paraméterektől, azaz a megeresztési hőmérséklettől és a hőtartási idejétől függ. A megeresztési keménység becsléséhez a gépi tanuláson alapuló módszert dolgoztunk ki.

ismeretében becslik a keménység eloszlását egy adott alkatrészt térfogatában. Elmondható, hogy ezeknek a modelleknek a felhasználása első sorban a hőkezelési eljárások tervezésénél jelentős, hiszen a szimulációk segítségével az adott céloknak megfelelően választhatók ki az optimális technológiai paraméterek. A szimulációs eljárások sajátossága, hogy az anyagtulajdonságok változási kinetikáját metallurgiai vagy fenomenológiai modellek alapján számítja.

Kutatási célunk az volt, hogy a keménység változását gépi tanulási módszerek segítségével tudjuk becsülni.

Gépi tanulási problémadefiníció

A műszaki probléma két módon közelíthető gépi tanulási szemszögből. Tekinthetjük regressziós feladatként és feldolgozhatjuk osztályozási feladatként is. Bár a Vickers (vagy bármely egyéb) keménységi skála egy folytonosan értelmezett skála, a konkrét gyakorlatban nem végtelen, illetve nem azt közelítő mennyiségű érték fordult elő, hanem tízféle diszkrét érték. Így osztályozási feladatként is felfogható a probléma, ahol a tíz osztály, a tízféle keménység, és a gépi tanulási feladat ezáltal az ismert paraméterek mentén helyesen eltalálni, hogy melyik keménységi osztályba fog tartozni a megfigyelt megeresztésű acél. Mivel az osztály maga a kialakult végső keménység, így magát a keménységet jósolja meg. Pusztán statisztikai alapon tíz osztályból választani nagyobb pontossággal lehet, mint egy végtelen skálán jósolni és minimalizálni a hibát, ami a regressziós eljárás sajátja lett volna, azaz nagyobb gyakorlati haszonnal kecsegtet az osztályozás szerinti megközelítés, így ezt választottuk.

Az adathalmaz bemutatása

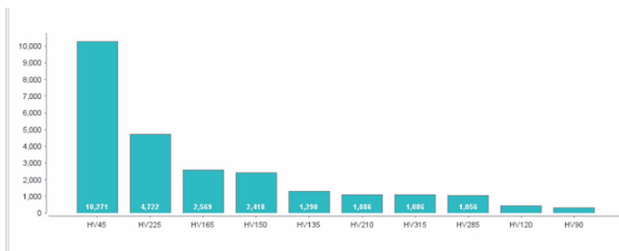
A kutatásban felhasznált adathalmaz összesen 18 400 darab mintát tartalmaz, melyek mindegyike az alábbi dimenziókat foglalja magában.

- anyagtípus (a megeresztett acél (próbatest) típusa)
- Felszín alatt mért hőmérséklet (a megeresztés kezdetekor mérhető hőmérséklet)
- Átmérő (az adott munkadarab átmérője)
- Megeresztési idő
- Megeresztési hőmérséklet
- Felhevítési idő

A leíró jellemzők után pedig ismert az elkészült acél keménysége Vickers keménységben mérve.

Az elkészült mérések valós adatokon alapulnak, ennek megfelelően gépi tanulási szempontból meg kell vizsgálni az adathalmaz jellemzőit. Az egyik legfontosabb vizsgálat az adatok eloszlásának vizsgálata volt.

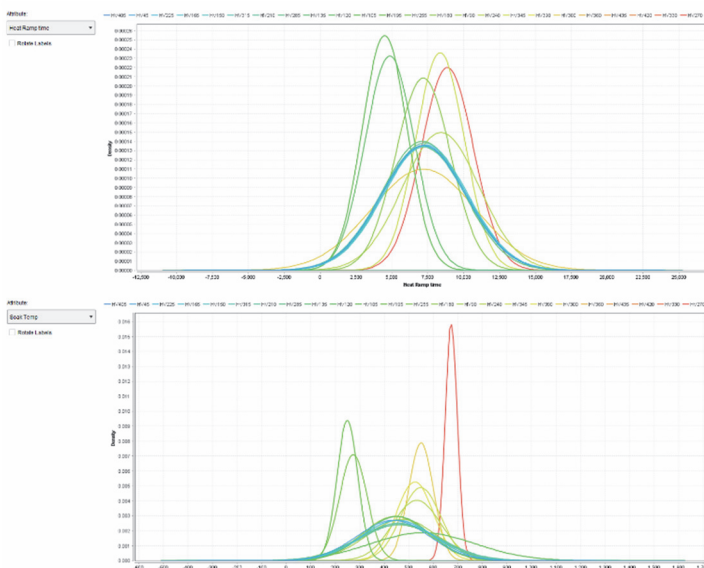
A különböző keménységek, azaz a megjósolni kívánt célváltozó eloszlása nem volt egyenletes, tehát egy kiegyensúlyozatlan osztályozási problémával állunk szemben.



1. ábra Keménységi értékek eloszlása az adathalmazban

Statisztikai eszközökkel lehetséges az ilyen halmazok mintavételes kiegyensúlyozása, ismervé a valóság alapsokaságának eloszlását, azonban ez szükségképpen olyan arányosításból álló hibát emelne a rendszervbe, ami lényegében értelmetlenné tenné a kifinomult algoritmusok használatát, hiszen elsimítaná az egyes apró eltérések hatásait, drasztikusan csökkentve az effektív adathalmaz méretét. Ezt a problémát megfelelő algoritmusok és hiperparaméterek kiválasztásával kezeltük inkább.

Az egyes változók eloszlását az egyes keménységi kategóriák (osztályok) mentén szintén vizsgáltuk, mely során arra jutottunk, hogy minden dimenzió mentén egymáshoz képest elcsúsztatva de haranggörbéket láthatunk.

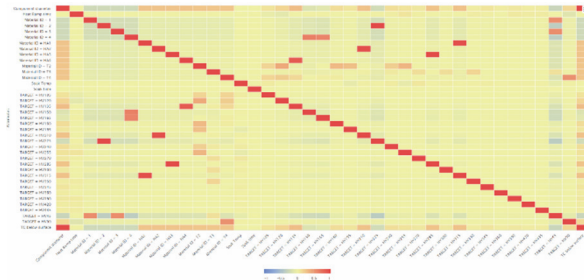


2. ábra

Keménységek eloszlása két dimenzióra vetítve (felhevítési idő és megeresztési idő)

Ez józanésszel is belátható, hiszen egyértelmű, hogy más-más megeresztési idő és hőmérsékletek mellett más keménységek lesznek jellemzők, de összességében nem látható egyik görbén sem mintavételi hibára utaló abnormalis eloszlás.

A korrelációs táblát hőtésképen ábrázolva is hasonló következtetésre juthatunk, autokorrelációnak vagy egyéb elemzési kihívásnak nincsen nyoma.



3. ábra Az adathalmaz korrelációs hőtérképe

Így eldönthettük, hogy a vizsgált adathalmaz alkalmas a gépi tanulás eszközeivel való elemzésre, további beavatkozás nélkül.

Az alkalmazott módszertan és keretrendszer bemutatása

A kutatás során több gépi tanulási algoritmus képességeit kívántuk összehasonlítani, ami egymással párhuzamosan több modellezési eljárást jelent. Annak érdekében, hogy az egyébként időigényes folyamat realiztikus erőforráskeretekben maradjon auto-ml technikát használtunk. Általánosságban az auto-ml azt jelenti, hogy az egyes gépi tanulási algoritmusok adott algoritmuson belüli legjobb eredményét adó hiperparamétereket, tehát az egyes algoritmusok saját paramétereit, nem kézi beállítással végeztük el, hanem a tanítási folyamat részeként az alkalmazott szoftver maga keresi meg, iteratív módon. A gyakorlatban így elért eredmények általában alatta vannak az elérhető maximumnak, amit nagyon hosszú idő alatt szakemberek iteratív módon és mély iparági ismeretek mellett képesek volnának elérni, továbbá természetesen alul maradnak az elérhető elméleti legjobb eredményhez képest, ám a gyakorlatban több algoritmus esetén reálisan nincsen alternatívája a módszernek.

Auto-ML keretrendszert több nagy globális szoftervállalat is kínál, melyek különböző szintű automatizálást tesznek lehetővé. Ezek között nyílt forráskódú és zárt rendszerek is elérhetők, továbbá olyanok is melyek kizárólag a modellezést hajtják végre, de olyan is létezik, mely a teljes data science folyamatot lefedi és támogatja.

Ez utóbbira példa a Rapidminer , mely a teljes elemzési folyamatot támogatja:

- adattisztítás,
- feature engineering,
- auto-ml,
- modellezés,
- modell kiértékelés,
- modell összevetés,

Ráadásul vizuális felülete alkalmas az elkészült modellek részletes elemzésére.

Az alkalmazott algoritmusok

A kutatásban nyolc különböző algoritmus képességeit vetettük össze, eltérő céllal, ezek:

- Naive Bayes
- Logisztikus regresszió
- Mélytanulás
- Döntési fa
- Véletlen erdő
- Gyorsított fa
- Támogató vektorgép

A logisztikus regressziót, a támogató vektorgépet elsősorban annak érdekében választottuk, hogy legyen egy alapul szolgáló közismert, könnyen interpretálható modellcsoportunk, amivel összevethető lesz majd a korszerűbb modellek, mint a neurális háló. Ezért a közismert algoritmusok bemutatásától eltekintünk, csupán az eredményeket adjuk közre.

Az igazán érdekes a két nagy gépi tanulási algoritmus család, a döntési fa típus és a mélytanulás, vagy neurális háló.

habár egyes kutatók szerint a mélytanulás, azaz a neurális háló értelmezhető egy rendkívül összetett döntési fáként [4], a tudományos konszenzusban, továbbá a vonatkozó gyakorlati implementációban ezek az algoritmusok két jól elkülönített kategóriába tartoznak.

A döntési fákat azért választottuk, mert aránylag alacsony számítási igényű algoritmusok, így több változatuk is kipróbálható egy időben. Eredményük könnyen értelmezhető, akár vizualizálható is maga a fa, ami egyrészt gyors ellenőrzést másrészt jó magyarázhatóságot biztosít.

Várakozásaink szerint az egyszerű döntési fa nem lesz alkalmas jó eredmények elérésére az adathalmaz sajátosságai miatt, de az erdő és a gyorsított fa típusú változataik eredményesek lehetnek.

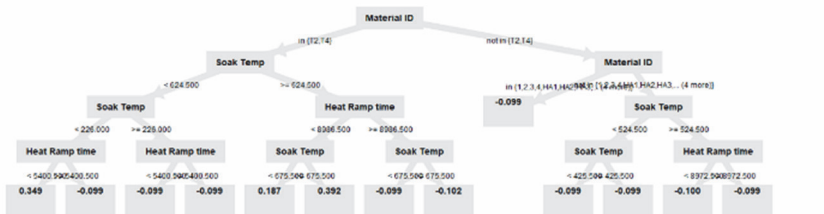
A neurális hálók mellett azért döntöttünk, mert az utóbbi időben a legnépszerűbb gépi tanulási algoritmus-család, jó okkal. Habár számításigényes algoritmusok és eredményüket nehéz magyarázni, rendre a legjobb teljesítményt mutatják fel prediktív alkalmazásokban.

Döntési fa (fák) hiperparaméterei

A fák létrehozásakor minden fa legfeljebb tizenöt mélységű lehetett, függetlenül a döntési fa típusától, de az elkészült eredmények alapján egy fa sem lett mélyebb ötnél, a kiinduló tizenötös paraméter ellenére. Ezzel a döntéssel a túltanítástól kívántuk védeni a modellt, noha speciális esetekben, amikor fizikai jelenségeket modellezünk, a túltanítás biztonságosan végezhető [5].

Minden ág csak kétféle ágazik el.

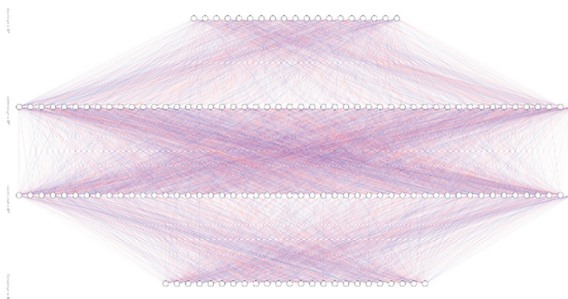
A véletlen erdő és a gyorsított fa esetén a maximális fa-szám 150 lehetett, melyet ki is használt az auto-ml rendszer.



4. ábra A gyorsított döntési fa vizualizációja (részlet)

Neurális háló hiperparaméterei

A neurális háló önmagában is egy tág fogalom, jelen tanulmányban egy hagyományos visszaproagált négy mélységű hálót készítettünk, mely két rejtett réteggel rendelkezett. Ezek rendre: 19, 50,50 és 24 széles rétegek voltak, L1 regularizációt használva. A tanítást 10 epoch-on keresztül végeztük.



5. ábra Az elkészült neurális háló felépítése

Eredmények

Az elkészült modelleket két mérőszámmal jellemeztük. A számunkra legfontosabb a pontosság volt, melyet a

$$\frac{VP + VN}{VP + AP + AN + VN}$$

képlettel lehet megadni, ahol a valós pozitív (VP), , valós negatív (VN), álpozitív (AP) és álnegatív (ÁN) döntéseket összevetve értékeljük a modellt.

Másik fontos mérőszámunk az osztályozási hiba, amely százalékos formában mutatja be a tévesztések arányát. A két mutató összértéke mindig 1.

1. Táblázat: Gépi tanulási modellek eredményeinek összevetése

Model	Osztályozási hiba	Pontosság
Decision Tree	0,609	0,391
Deep Learning	0,107	0,893
Gradient Boosted Trees	0,099	0,901
Logistic Regression	0,175	0,825
Naive Bayes	0,191	0,809
Random Forest	0,100	0,900
Support Vector Machine	0,820	0,180

A várakozásoknak megfelelően a vektorgép nem teljesített jó, ám a logisztikus regresszió némileg meglepő módon igen jó eredményt ért el. Természetesen a legjobb eredményt a mélytanulás és a két korszerű fa típusú algoritmus a véletlen erdő és a gyorsított erdő érte el. A két fa típusú és a neurális háló között olyan kicsi a különbség, hogy tekinthetjük mindet megfelelőnek az eredményesség tekintetében, fontos azonban megjegyezni, hogy a neurális háló tanítása időben (számítási igényben) közel azonos a gyorsított fáéval, viszont négyszerese a véletlen erdőnek. Hatékonyságot figyelembe véve a véletlen erdő tehát lényegesen jobb algoritmusnak bizonyult.

Összefoglalás

Ebben a cikkben a napjainkban elterjedt gépi tanulási (mesterséges intelligencia) modellek hatásosságát vizsgáltuk acélok megeresztésnek technológiájában való felhasználásra. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a megeresztési paramétereket ismerve a gépi tanulási modellek képesek 90%-os pontossággal előre megjósolni a próbatest Vickers keménységét az eljárás befejezése után, tehát a háttérben zajló hőtani folyamatok összefüggéseit jól ismeri fel.

Irodalom

- [1] Bhadeshia HKDH, Honeycombe R., 2006, Steels: Microstructure and Properties. Oxford, Butterworth Heinemann, p. 183-208.
- [2] Aubry C, Denis S, Archambault P, Simon A, Ruckstuhl F., 1997, Modeling of Tempering Kinetics for the Calculation of Heat Treatment Residual Stresses in Steels. The Fifth International Conference on Residual Stresses Linköping, Sweden 1, 417-421.
- [3] Gergely, M ; Réti, T ; Konkoly, T** ; Somogyi, S: Computerized Properties Prediction and Technology Planning in Heat Treatment of Steels, ASM handbook : Vol. 4, Heat treating (1991) pp. 638-656.
- [4] Caglar Ayetkin: Neural Networks are Decision Trees, cikk, <https://arxiv.org/pdf/2210.05189.pdf> 2022.10.10
- [5] Zoltán Biczó, Imre Felde, Sándor Szénási: Safe Overfitting of Boosted Tree Algorithm in Heat Transfer Modeling, konferencia anyag SAMI 2022

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a A Magyar-Mexikói bilaterális Tét projekt támogatásáért (2019-2.1.11-TÉT-2019-00007).

A hatékony energiafelhasználás buktatói az indukciós hevítés közben

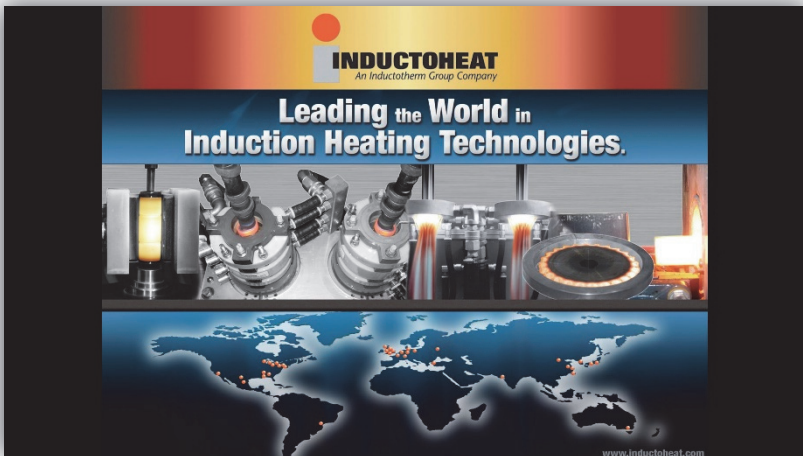
Farkas Árpád

Inductoheat Europe GmbH, Németország

XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos
Konferencia és Szakkiállítás
2022.10.5-7

**A hatékony energiafelhasználás buktatói az indukciós
hevítés közben**

Farkas Árpád





Mit csínálunk: az Inductotherm csoport



Mit csínálunk: Inductoheat Europe



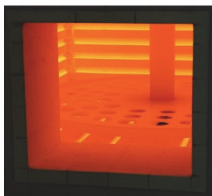
A koncepciók összehasonlítása

Indukciós edzés



Magas teljesítmény sűrűség
Hevítési sebesség > 1000°C / sec. lehetséges
→ **DIREKT** hevítése az anyagnak

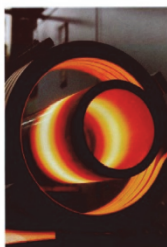
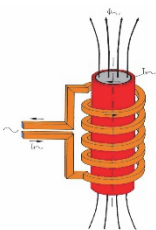
Elektromos ellenállásfűtésű kemence



Közepes teljesítmény sűrűség
→ indirekt hevítés (sugárzással + hőátadással)



Az Indukciós hevítés alapelve

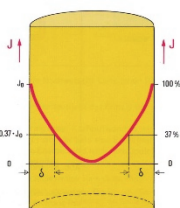
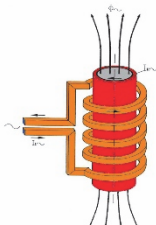


Áthevítés és a „skin” hatás



Quelle: RWD-Information Induktive Erwärmung

Frekvencia kiválasztása



Maxwell (harmonic)

$$\operatorname{rot} \left(\frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \vec{A} \right) = j \omega \kappa \vec{A} + \vec{S}$$

Hőátadás

$$c_p \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = \operatorname{div} (\lambda \operatorname{grad} \theta) + p$$

Hőforrás - eredet

$$p = \kappa \omega^2 |\vec{A}|^2$$

86 %-a a gerjesztett energiának az elektromágneses behatolás mélységében oszlik el

86 %
Power



Quelle: Leibniz Universität Hannover, ETP

Elszabaduló energiaárak hatásai: új igények a piacon

- Indukciós hőkezelési folyamatok energiafelhasználásának optimalizálása
- A kovácsolási hevítési folyamatok optimalizálása
- Bizonyos kemencés hőkezelések (pl. megeresztés) kiváltása indukcióval
- Gázos hevítési technológiák kiváltása indukcióval – olvasztásnál is
- Az energiafelhasználás pontos nyomon követése



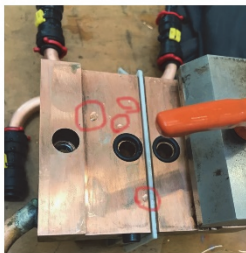
Elszabaduló energiaárak hatásai: új igények a piacon

- Indukciós hőkezelési folyamatok energiafelhasználásának optimalizálása
- Vesztések: Induktor és a darab csatolása (kézzel készített tekercs / CNC forgácsolt
- Induktor és az esetleges koncentrátorok állapota – akár 30-50% veszteséget okozhat (pl. fékkulcs esetén)
- A hőkezelési folyamat optimalizálása (pl. visszahűtési hőmérséklet)
- A hűtési folyamat hatásfoka (hűtőtorony, vagy levegő – víz hűtőegység használata)
- Inverter elektromos hatásfoka – állapota (vízkövesedés, oxidáció)



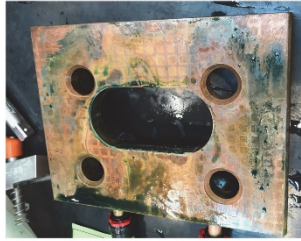
Elszabaduló energiaárak hatásai: új igények a piacon

- Indukciós hőkezelési folyamatok energiafelhasználásának optimalizálása
- Karbantartás, tisztítás.



Elszabaduló energiaárak hatásai: új igények a piacon

→ Indukciós hőkezelési folyamatok energiafelhasználásának optimalizálása

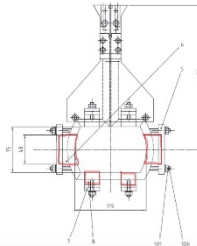
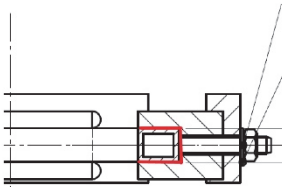


Elszabaduló energiaárak hatásai: új igények a piacon

→ Indukciós hőkezelési folyamatok energiafelhasználásának optimalizálása

Koncentrátorok csatolásának rendszeres ellenőrzése

Ha rés van az induktor és a koncentrátor között, az rontja a hatásfokot és az élettartamot is (nem hatékony a hűtés)



Elszabaduló energiaárak hatásai: új igények a piacon

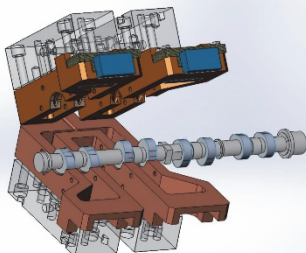
→ Indukciós hőkezelési folyamatok energiafelhasználásának optimalizálása

Kézzel készített tekercsek kiváltása forgácstolt induktorkal

Előny: sokkal kisebb lehet a csatolási távolság

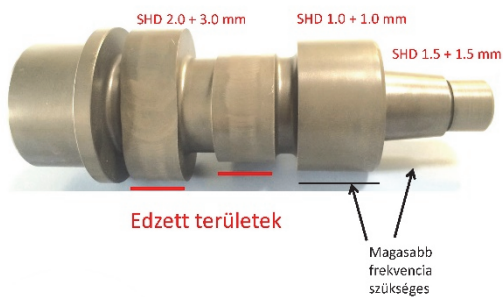
- jobb hatásfok

+ pontosabban reprodukálható,

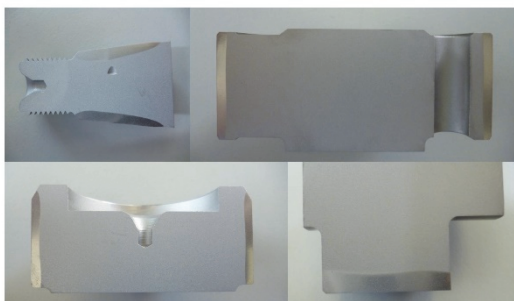


IFP (változtatható frekvenciás)

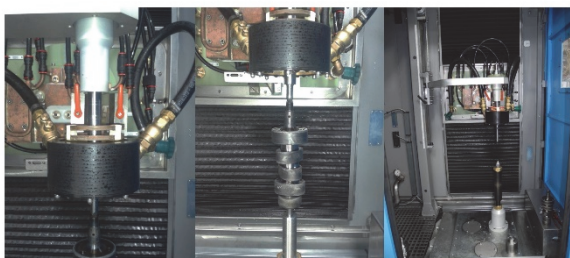
Vezérműtengely edzés --- Követelmények ---



Eredmény az IFP (változtatható frekvenciás) edzés után

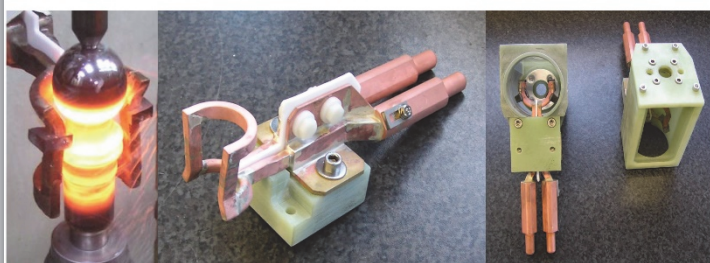


IFP (változtatható frekvenciás) Vezérműtengely edzés

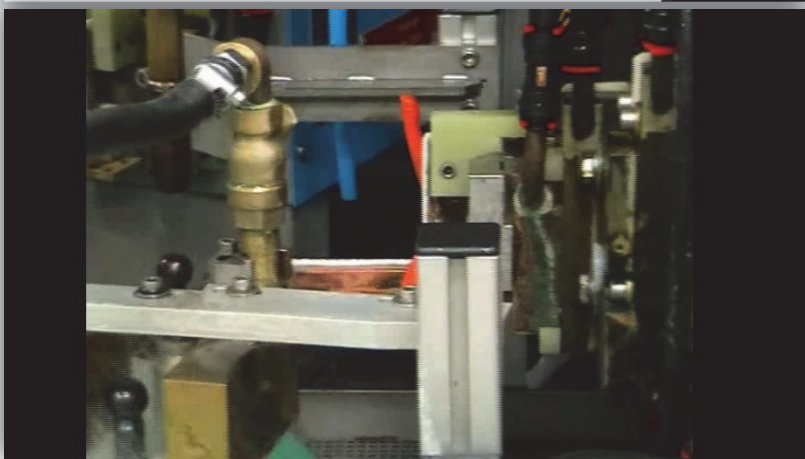




Gömbfej edzés



INDUCTOHEAT
EUROPE
We're heating up your world.



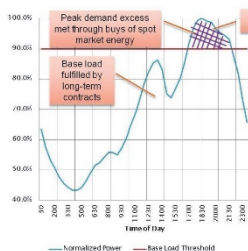
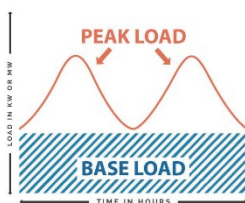
Gömbfej edzés

Edzés és megeresztés:

- A mag előhevítése alacsony frekvenciával
10kHz, 3s
- A felület edzése magas frekvenciával
100kHz, 2,5s
- A mag maradékhője megeresztí a darab edzett felületét



Lehetőségek: Folyamat Szabályozás – Fogyasztási csúcsok elkerülése



- Energia beszerzési megtakarítási lehetőség
- Energia management rendszeren keresztüli kimutatások
- Energiamegtakarítás a feleslegesen futó szivattyúk, egyéb kiegészítő berendezések kikapcsolásával

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

NbTi/Cu szupravezető kompozit előállítás termomechanikus kezeléssel

Kárpáti Viktor^{1,2}, Dr. Kaptay György¹, Korózs József¹,
Dr. Nagy Erzsébet¹, Dr. Szabó Gábor¹, Dr. Barna Dániel^{1,2},
Dr. Koncz-Horváth Dániel¹, Dr. Mertinger Valéria¹

¹ Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

² Wigner Fizikai Kutatóközpont, Nagyenergiás Fizika Osztály

The poster features a blue background with a hexagonal pattern. At the top left is the Miskolci Egyetem logo. In the center, the title 'NbTi/Cu szupravezető kompozit előállítása termikus-ciklikus-mechanikus kezeléssel.' is written in white. Below the title, the names of the organizers are listed. At the bottom, the conference details are provided: 'XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépépítésben Országos Konferencia és Szaknaplószerű', '2022. Október 5-6-7. - Balatonfüred'. Logos for Wigner and 3D Lab are also present.

MISKOLCI EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC

3D Lab
Infrastructure for Fine Structure Analysis

NbTi/Cu szupravezető kompozit előállítása termikus-ciklikus-mechanikus kezeléssel.

Kárpáti Viktor^{1,2}, Dr. Kaptay György¹, Korózs József¹, Dr. Nagy Erzsébet¹, Dr. Szabó Gábor¹, Dr. Barna Dániel^{1,2}, Dr. Koncz-Horváth Dániel¹, Dr. Mertinger Valéria¹

¹Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet
²Wigner Fizikai Kutatóközpont, Nagyenergiás Fizika Osztály

XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépépítésben Országos Konferencia és Szaknaplószerű
2022. Október 5-6-7. - Balatonfüred

Wigner

The diagram shows a triangle with 'CERN' at the top, 'Wigner' at the bottom left, and 'Miskolci Egyetem' at the bottom right. Arrows connect them in a cycle: CERN to Wigner (labeled 'CERN m/m%'), Wigner to Miskolci Egyetem (labeled 'Wigner m/m%'), and Miskolci Egyetem to CERN (labeled 'Miskolci Egyetem m/m%'). In the center of the triangle, it says 'Új és funkcionális lemezes szupravezető kompozit előállítás'. Above the triangle is the CERN logo. Below it is the Wigner logo. To the right of the triangle is the Miskolci Egyetem logo. The text '2019-ben indult közös együttműködés: a CERN, a Wigner Fizikai Kutatóközpont, a Miskolci Egyetem között.' is on the left. Below it, the goal is stated: 'Az együttműködés célja: Funkcionális hengerelt szupravezető kompozit előállítása. → ternér diagram'. At the bottom, it says 'Az együttműködés ternér diagramja'.

CERN – WIGNER – MISKOLCI EGYETEM EGYÜTTMŰKÖDÉS

2019-ben indult közös együttműködés:
a CERN,
a Wigner Fizikai Kutatóközpont,
a Miskolci Egyetem között.

Az együttműködés célja:
Funkcionális hengerelt szupravezető
kompozit előállítása. → ternér diagram

Új és funkcionális
lemezes szupravezető
kompozit előállítás

CERN m/m%

Wigner m/m%

Miskolci Egyetem m/m%

Az együttműködés ternér diagramja

Wigner

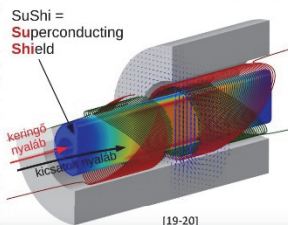
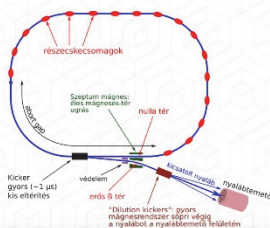
MISKOLCI EGYETEM

2

Future Circular Collider (FCC) → 8x tömegközépponti energiát biztosít mint az LHC

SuShi - új koncepciójú - mágnes: a szupravezető páncél hoz létre nulla mágneses terű tartományt erős külső mágneses térben.

Nulla tér: nagy intenzitású nyaláb kering. **Erős külső tér:** programozottan vonja ki az ütköztetések után a csökkent intenzitású nyalábot.



[19-20]

3

PROJEKT CÉLJA

Cu/Nb/NbTi/Nb lemezes szerkezet a legjobb anyag kombináció! → NbTi szupavezet, Cu stabilizátor (~10-szer jobb hő- és elektromos vezető mint a NbTi), Nb diffúziót gátol

Az anyagpárosítás már létező koncepció: 1D → szupravezető kábel gyártás, 2D kiterjesztés a lemezes kompozit.

A Nippon Steel Co. japán cég már gyártott 40 éve nagy rétegszámú lemezes kialakítást, de!

Azóta nem gyártottak, a technológia drága, a Nippon nem érdekelt az ismeret átadásában, az anyagra szükség van!



Projekt célja: Jobb vagy olcsóbb kompozit előállítás.

A kompozit előállításánál cél:

- A funkcionalitás megtartása mellett **költséghatékonyság növelése**,
- Az új fejlesztési irányok adhatnak a mágnesnek olyan alkalmazási lehetőségeket, mint pl. az MRI technológia, szupravezető mágnes védelem (superconducting switch – PSI/ITER), mágneses árnyékolás

Egy reprodukálhatósági probléma „reverse engineering”.



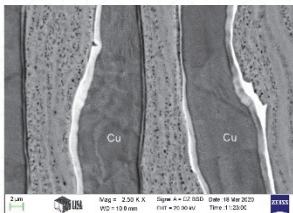
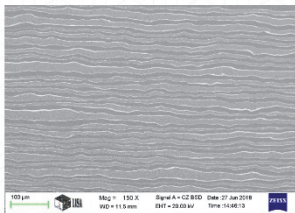
4

NIPPON STEEL CO. – NbTi/Nb/Cu LEMZES KOMPOZIT

[Itoh és társai 1995 (Nippon Steel Co.) [57]:

- 30 darab Nb46-Ti, 60 darab Nb, és 31 darab OFHC Cu rétegeket zártak egy réz kazettába,
- Elektronsugarasan lehegesztették.
- Az összeszerelt szerkezetet kezdetben melegben majd hidegen hengerelték (50%-os 76%-os redukció) végül hőkezelték.
- Kompozit végvastagsága: 0.75 mm.

30 szekvenciás referencia lemez



Elvárások:
 Geometria: 0.5x250x900 mm
 NbTi: 0,01 mm
 Cu: 0,01 mm
 Szekvencia: 20 (40 réteg)
 Vegyület mentes szerkezet
 Finom α-Ti kiválások

Hidegalkatás +
hőkezelés

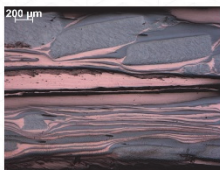
Nippon Steel Co. által előállított kompozit lemezről készült elektronmikroszkópi felvételek láthatók, melyet a Wigner Fizikai Kutatóközpont bocsájtott rendelkezésünkre.

5

Reprodukálhatósági probléma → A kompozit előállításához megfelelően megválasztott paraméter együttes szükséges, különben:



Réteg szétválás történik



Alakíthatatlan Cu-Ti vegyületfázisok képződnek



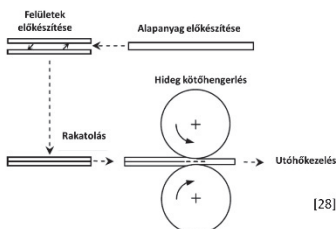
Kazetta felnyílás → rétegek oxidációja

- Milyen paraméterek alkalmazásával jön létre az eltérő fizika tulajdonságú rétegek között a megfelelő kötés?
- Mi történik, abban az esetben, ha meleghegerlés közben felszakad a Nb réteg és a NbTi/Cu határfelület érintkezik, vagy ha költségcsökkentés céljából a drága nióbium réteget elhagynánk?

Ezekre a nyitott kérdésekre keresem a választ kutatómunkám során!

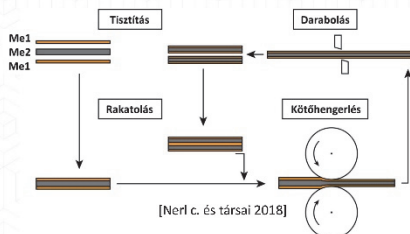
6

Kötőhengerlés



[28]

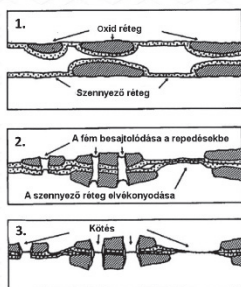
Halmazódó kötőhengerlés



[Nerl c. és társai 2018]

A kötőhengerlés előtt két vagy több fémlamezt helyeznek egymásra, ezt követően adott redukcióval hengerlik a szerkezetet. A megfelelő redukció és felület növekedés hatására kötés alakul ki a rétegek között.

7

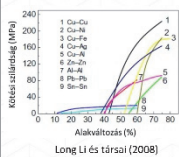


Kötés kialakulása reális technológiai körülmények közt [33]

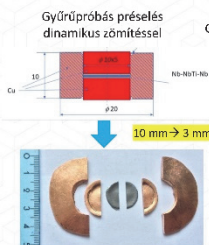
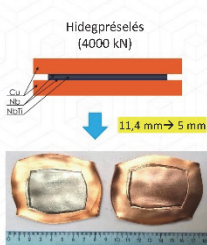
A kötés minőségét befolyásolják:

- **Deformációs küszöb és az optimális felületnövekedés:** A deformációs küszöb az a minimális alakváltozás, amely során mechanikai kötés alakul ki a rétegek közt [33].
- **Rácsszerkezet:** A legkönnyebben a réz és az alumínium fémek kötőhengerelhetők hidegen. Ennek oka, hogy FKK fémek esetén az oxidfilm koherensen szakad fel.
- **Felületi minőség:** A legjobb kötési szilárdság a zsírtalanított, majd csiszolt felületek hengerlése során jött létre [38].
- **Alakítási hőmérséklet:** A melegalakítás esetén a kötés hamarabb létrejön, az alakítási küszöb érték csökken a kötés szilárdsága pedig növekszik [29].
- **Az alakítóerő és az alakítási szilárdság kölcsönhatása:** A kellő mértékű alakítóerő biztosítja az érintkező felületek növekedését. Az alakító erő bizonyos értékének elérése után elérhető az anyag alakítási szilárdsága, ezen pont elérése után a kötés létrejön [39].

8



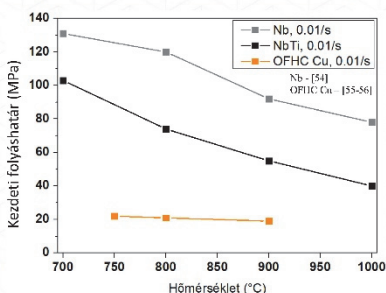
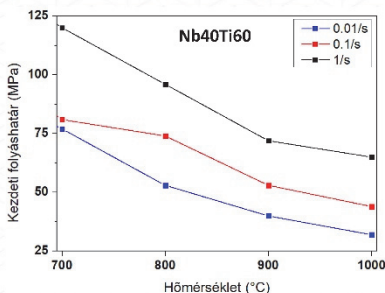
Cu-Fe anyagpár ~50%



A kötés nem alakult ki a rétegek között kb. 50% / 70% / 90 %-os hidegalakítás után sem!
→ **Melegalakítás alkalmazása!**

9

Elterő anyagok, eltérő folyáshatárok. → Cu és Nb irodalomban ismert, viszont a NbTi-ra kevés irodalom ismert. Nb40Ti60 Zömítővizsgálatok → folyásgörbék felvétele és korrigálása → Kezdeti folyáshatárok összehasonlítása



A három alapanyag között jelentős folyási feszültség különbség figyelhető meg 700°C-os és a feletti alakítási hőmérséklet esetén is, ezért a lemezes kompozit előállítása bonyolultabb paraméter összehangolást igényel.

10

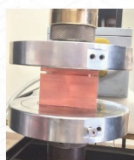
Irodalmi ismeretek alapján (Itoh és társai 1995, Oguma és társai 2001):
Nagymértékű meleg és hidegalakítás + oxidációtól védő rézkazetta alkalmazása

Előkísérletinkben: Irodalmi adatok és DSC mérések alapján a statikus újrakristályosodási hőmérséklet idő értékeinek meghatározása: tiszta Nb és Nb3Ti47-re nézve: 900 - 1000°C, 1 óra

Jelenleg alkalmazott előállítási technológiai lépések:



Rakatosítás
(Maratás + Argon)



Kazetta előzömítése
(Zárófedel besajtolása)



Előhevítés
(900-960°C, 1-2 óra)



Meleghengerlés
(900-960°C, 5 perc visszamelegítés)



Hideghengerlés
(utolsó melegsűrés után egyemeleghő való tovább alakítás)

11

Von roll hengerállvány

Kísérlet közbeni makrófelvételek:

Szabó Gábor



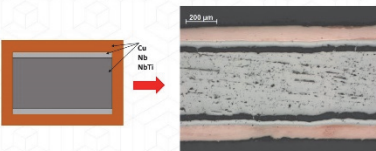
12

AR1a - egy szekvenciás kompozit

Kísérlet paramétereit:

- Előhevítési hőmérséklet, idő: **960°C, 1 óra**
- Kiinduló rétegvastagság: Nb: 2 mm, NbTi: 20 mm, Cu: kazetta
- Kiinduló össz. vastagság: 44 mm
- Össz. végvastagság: 1.05 mm

Kísérlet eredménye:



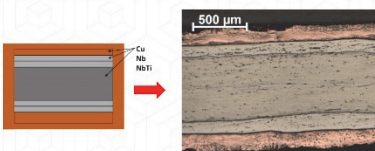
Megállapítás: Rétegszétválás → Irodalmi adatok alapján
Héregyszám növelés → Előre hengerlet lemezek → AR1b

AR1b - egy szekvenciás kompozit

Kísérlet paramétereit:

- Előhevítési hőmérséklet, idő: 960°C, 1 óra
- Kiinduló rétegvastagság: Nb: 0.96 mm, NbTi: 4 mm, Cu: kazetta + hézagoló réz
- Kiinduló össz. vastagság: 44 mm
- Össz. végvastagság: 1.05 mm

Kísérlet eredménye:



Megállapítás: Rétegszétválás nem történt → szekvenciaszám növelése indokolt → AR5

13

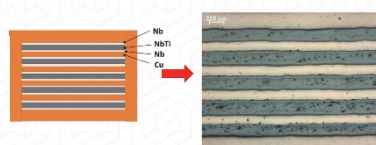
AR5- öt szekvenciás kompozit

AR1b alapján rétegszámnövelés. → Előhengerelt alapanyagok!

Kísérlet paramétereit:

- Előhevítési hőmérséklet, idő: 900°C, 2 óra
- Kiinduló rétegvastagság: Nb: 0.45 mm, NbTi: 2 mm, Cu: 2mm
- Kiinduló össz. vastagság: 44 mm
- Össz. végvastagság: 2.4 mm

Kísérlet eredménye:



Megállapítás: Rétegszétválás nem történt → szekvencia szám tovább növelése → AR10

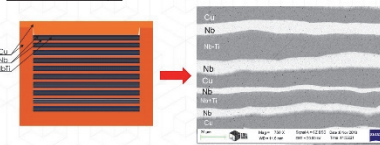
AR10- tíz szekvenciás kompozit

Előhengerelt alapanyagok vastagságának csökkentése!

Kísérlet paramétereit:

- Előhevítési hőmérséklet, idő: 960°C, 1 óra
- Kiinduló rétegvastagság: Nb: 0.21 mm, NbTi: 0.96 mm, Cu: 1.04 mm
- Kiinduló össz. vastagság: 44 mm
- Össz. végvastagság: 0.5 mm

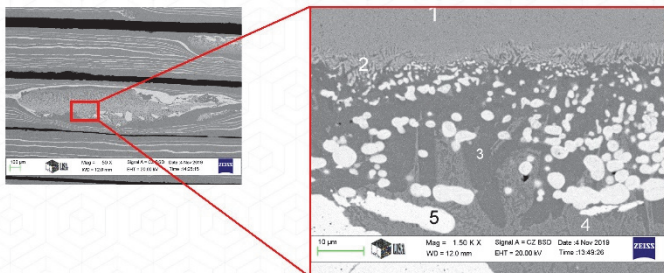
Kísérlet eredménye:



Megállapítás: Rétegszétválás nem történt, viszont!

14

Tíz szekvenciás kompozit (AR10) szerkezetében anomáliák jelentek meg!

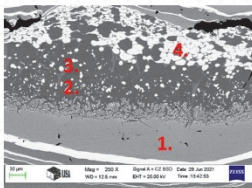


A Nb réteg felszakadt, $\text{Cu}_x(\text{NbTi})_y$ vegyületek alakultak ki 960°C hőmérsékleten.

Elemek	Pont 1	Pont 2	Pont 3	Pont 4	Pont 5
Nb (at%)	32.59	21.95	7.14	5.4	78.79
Ti (at%)	65.81	41.29	36.91	19.87	16.81
Cu (at%)	1.59	36.77	55.95	74.73	4.4

15

NR40a kísérlet



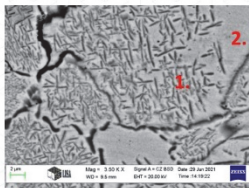
Elemek	Pont 1	Pont 2	Pont 3	Pont 4
Au (at%)	1.54	4.42	4.19	0
Nb (at%)	37.49	2.61	4.56	85.56
Ti (at%)	60.14	38.08	22.94	10.94
Cu (at%)	0.83	54.88	68.27	3.5

Előhevítési hőmérséklet, idő: 900°C , 1 óra

Megállapítás:

Cu-Ti vegyületek alakultak ki.

NR40b kísérlet



Elemek	Pont 1	Pont 2
Au (at%)	3.82	1.28
Nb (at%)	35.84	38.82
Ti (at%)	59.06	56.76
Cu (at%)	1.28	1.14

Előhevítési hőmérséklet, idő: 700°C , 1 óra

Megállapítás:

Widmanstädten szövetelem kialakulása, Cu-Ti nincs!

NR kísérletek felfüggesztése, előre hengerelt alapanyagok alkalmazása.

Mely az a határhőmérséklet ahol a Cu-Ti vegyületfázisok megjelennek?

16

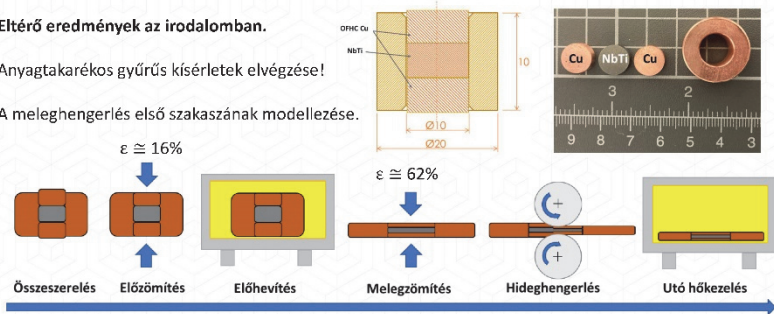
Hiv. Szám.	Termék/ Próbadarab	Kötés típusa	Hőkezelési paraméterek	Vegyület
[59]	Nb-Ti/Cu kábel	extrudálás	600°C , 3 óra	(Nb-Ti) ₂ Cu
[60]	Nb-Ti/Cu kábel	extrudálás/fémes kötés	300°C , 3 óra	6 nm - Ti ₂ Cu ₃
[61]	Nb-Ti/Cu kábel	extrudálás/ mechanikus kötés	650°C , 3 óra	$1.9 \mu\text{m} - \text{Ti}_2\text{Cu}_3$
			750°C , 2 óra	Cu ₂ Ti
[62]	Nb-Ti/Cu kábel	fémes kötés	550°C , 2 óra	
			$550^\circ\text{C} >$	Cu ₂ Ti, Cu ₃ Ti
[63]	NbTi/Cu kábel	nincs adat	700°C	Cu ₂ Ti, Cu ₃ Ti ₂
[65]	Ti/Cu fólia	hideghengerlés/diffúziós kötés	883°C	olvadás
[66]	Ti/Cu többrétegű kompozit lemez	hideghengerlés/diffúziós kötés	900°C , 0.5 óra	Ti ₂ Cu, TiCu, Ti ₃ Cu ₄ , Ti ₂ Cu ₃ , TiCu ₂
			900°C , 5 óra	Ti, TiCu, Ti ₂ Cu
[67]	Ti/Cu/Ti kompozit lemez	hideghengerlés/diffúziós kötés	450°C , 0.5 óra	Ti ₂ Cu, TiCu, Ti ₃ Cu ₄ , Ti ₂ Cu ₃
			450°C , 5 óra	nem egybefüggő CuTi ₂ , CuTi, Cu ₂ Ti ₂ , Cu ₃ Ti
			300°C , 2 óra	nem egybefüggő CuTi ₂ , CuTi, Cu ₃ Ti ₂ , Cu ₂ Ti
			500°C , 2 óra	egybefüggő CuTi ₂ , CuTi, Cu ₃ Ti ₂ , Cu ₂ Ti
[68]	Nb/Ti/Cu diffúziós pár	diffúziós pár/diffúziós kötés	700°C , 2 óra	egybefüggő CuTi ₂ , CuTi, Cu ₃ Ti ₂ , Cu ₂ Ti

Eredmények eltérők → a nem kívánatos alakíthatatlan Cu₂Ti₂ fázisok megjelenési hőmérsékletének meghatározása kísérleti úton.

Eltérő eredmények az irodalomban.

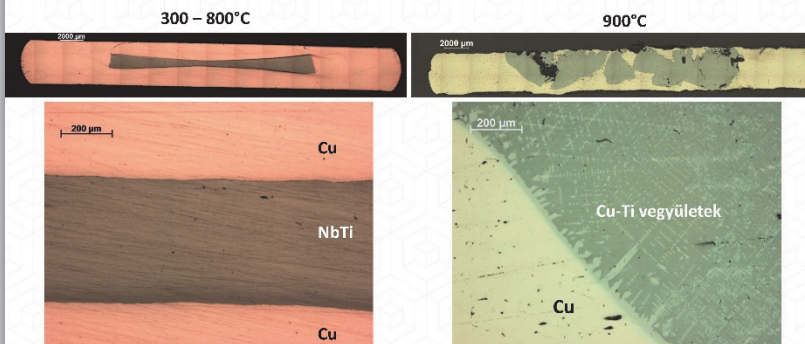
Anyagtakarékos gyűrűs kísérletek elvégzése!

A meleghengerlés első szakaszának modellezése.



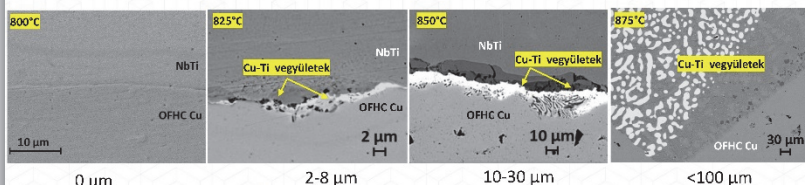
Gyűrűk előhevítése 300 - 900°C-ig, 2 óra → melegzömítése + hengerlése + hőkezelése

18



Az irodalmi és a kísérletek eredményei után nyitott kérdésem, hogy melyik az a hőmérséklet-idej technológiai ablak amin belül a vegyületképződés elkerülhető?

19

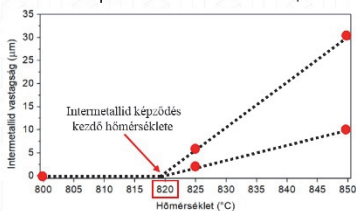


0 μm

2-8 μm

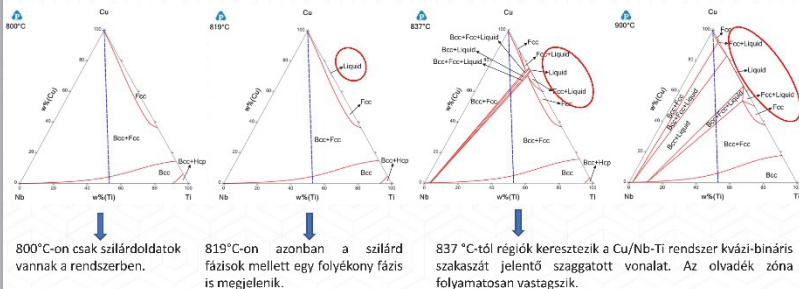
10-30 μm

<100 μm



20

Kedzetben a NbTi/Cu rendszer nem-egyensúlyi, hiszen nem tartalmaz intermetallidokat, ezért az intermetallidokat kizárjuk és kizárólag a Nb, Ti, Cu és a folyékony fázist vesszük figyelembe a CALPHAD számításokat.



Bármilyen új egybefüggő fázis a Cu/Nb-Ti határfelület mentén káros, az olvadéok fázis megjelenését kerülni kell!

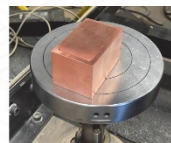
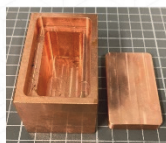
21

A termodinamikai számításainkat és a gyakorlati tapasztalatokat felhasználva → Nb mentes kompozit

OFHC Cu kazetta

Előhengerelt alapanyagok rakatolása

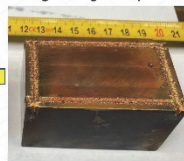
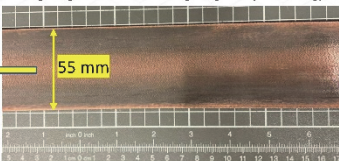
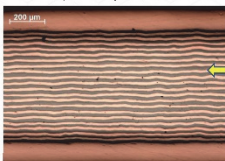
Kazetta zárás



NbTi/Cu kompozit lemez

Meleghengerlés 700°C és hideghengerlés (h=1 mm-ig)

Elektronsugaras hegesztés (h=40 mm)

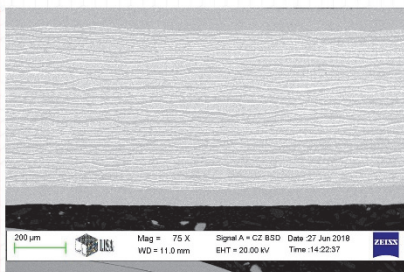
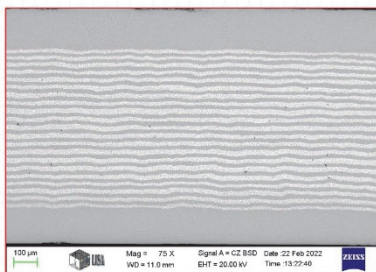


22

A termodinamikai számításainkat és a gyakorlati tapasztalatokat felhasználva (elektron sugaras hegesztés, gyűrűs kísérleti eredmények, kötőhengerlési kísérletek) nióbium mentes kompozit lemez előállítását végeztük.

FKNI

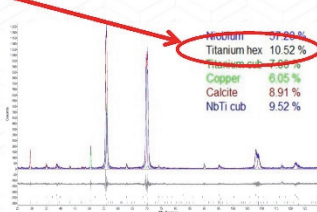
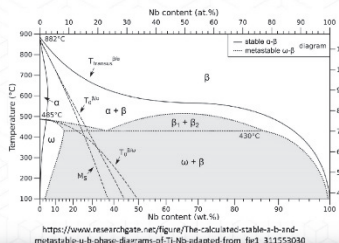
Nippon



Eredmény: 20 szekvenciás = 40 rétegű Nb mentes, NbTi/Cu lemezes kompozit!

23

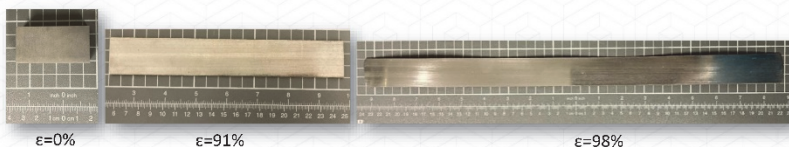
- NbTi/Cu kompozit rendelkezésre áll. → Hőkezelési kísérletek
- A hőkezelés célja az α -titan kiválások képzése.
- Kiválásképzés oka a mágneses vortexek stabilizálása → nagy kritikus áramsűrűség nagy B térben!
- A kiválás: sok, apró, homogén eloszlású (hidegalakítás + hőkezelés kombinációja)!
- A szupravezetést a β fázis azaz az alapfém biztosítja.
- Irodalom alapján a kiválásképzés: hidegalakítás + 350-425°C + sok 10 órás hőtartás után történik.
- Első kérdés: Hány óra után indul meg az α -titan kiválás?



Röntgendiffrakciós fázisanalízis Nippon lemez

24

Termikus ciklikus mechanikus előkísérletek Nb53Ti szupravezető ötvözetben. → Hideghengerlés + hőkezelés



	Alakítás 74%	Hőkezelés 375°C, 6h	Alakítás 91%	Hőkezelés 375°C, 6h	Alakítás 97%	Hőkezelés 375°C, 6h	Alakítás 98%	Hőkezelés 375°C, 6h
T1								
T2								
T3								
T4								
T5								
T6								
T7								
T8								

25



$\epsilon=90\% + 375^\circ\text{C}, 6 \text{ óra}$
 $\alpha\text{-Ti} = 3.41 \text{ wt}\%$

$\epsilon=97\% + 2 \times 375^\circ\text{C}, 6 \text{ óra}$
 $\alpha\text{-Ti} = 8.03 \text{ wt}\%$

$\epsilon=98\% + 3 \times 375^\circ\text{C}, 6 \text{ óra}$
 $\alpha\text{-Ti} = 8.53 \text{ wt}\%$

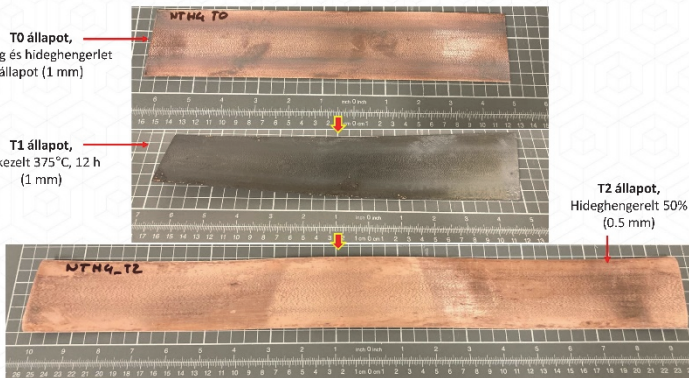
A T4-es állapot előtt nincs kimutatható α -titan, a kiválás képződéshez minimum 90%-os hideg alakváltozás szükséges. A hidegalakítás mértékének és a hőkezelési időnek a növelésével az α -titan mennyisége nő!

26

T0 állapot,
Meleg és hideghengerlet
állapot (1 mm)

T1 állapot,
hőkezelt 375°C, 12 h
(1 mm)

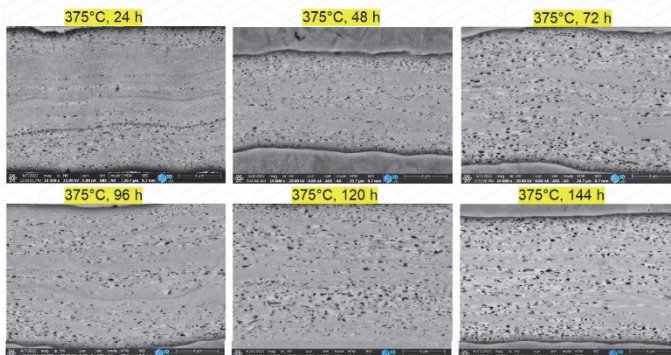
T2 állapot,
Hideghengerlet 50%
(0.5 mm)



T2 utóhőkezelése 375°C-on 24-144 óráig

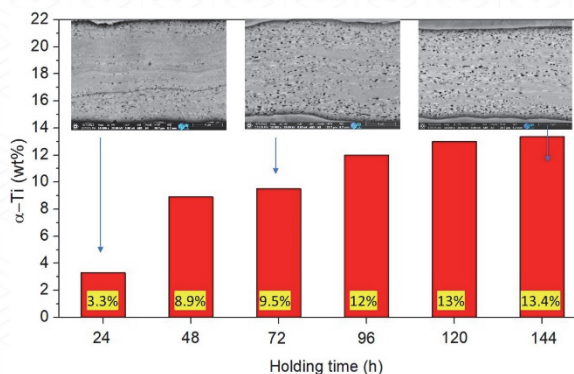
27

α -Ti kiválások SEM vizsgálata



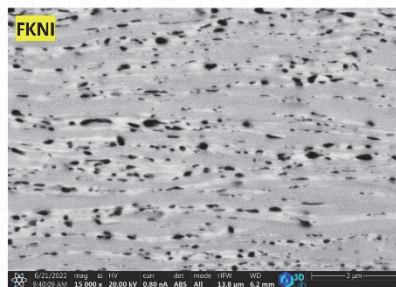
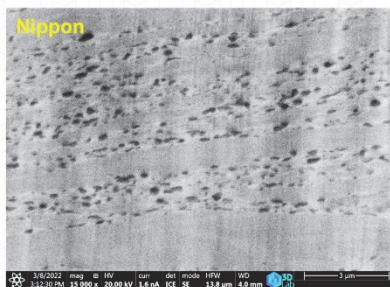
28

XRD fázisazonosítás és Rietveld analízis elvégzése a α -Ti fázismennyiség meghatározásához.



Nagy Erzsébet

29

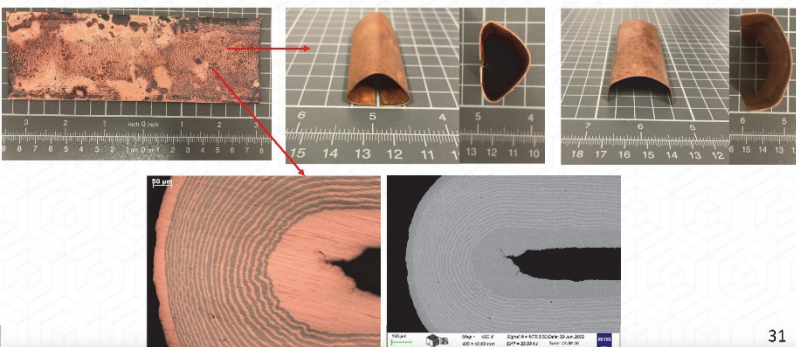


Lemez vastagság = 0.75 mm
NbTi és Cu réteg $\cong 9 \mu\text{m}$
 $\alpha\text{-Ti} \cong 11 \text{ tömeg\%}$ (Rietveld)
 $J_c(B) = 1580 \text{ A mm}^{-2}, 4 \text{ T}$

Lemez vastagság = 0.5 mm
NbTi és Cu réteg $\cong 9 \mu\text{m}$
 $\alpha\text{-Ti} \cong 13.5 \text{ tömeg\%}$ (Rietveld)
 $J_c(B) = ?? 4 \text{ T} \rightarrow \text{TU Wien}$

30

Kézi erővel történő „hajlító vizsgálat” a hőkezelt kompozitokon



31

Az előadásom során bemutattam, hogy:

- A Nb, NbTi, OFHC Cu alapanyagok alakítási szilárdsága erősen alakítási sebesség és hőmérséklet függő. A három alapanyag között jelentős a folyási feszültség különbség még 700°C-on és a feletti alakítási hőmérséklet esetén is.
- A több szekvenciás Cu/Nb/NbTi/Nb kompozit előállításánál előhengerített alapanyagokat érdemes alkalmazni, a szekvencia számot az alapanyagok kiinduló lemezzavastagság csökkenésével érdemes növelni. Az alacsonyabb hőmérsékletű kísérletek biztonságos elvégezhetősége miatt elektronsugarasan hegesztett kazettát érdemes alkalmazni.
- Az elvégzett szisztematikusan felépített fizikai szimulációk és termodinamikai számítások alapján nióbium mentes NbTi/Cu lemezes kompozit előállítható, nagyméretű anomáliák képződése nélkül.

32

- [19] Dr. Barna Dániel, „A Future Circular Collider exotikus kicsatoló mágnesre”, tudományos ismeretterjesztő előadás, Miskolc, 2020. február 17.
- [20] Dr. Siklér Ferenc, „Új tudományos és technikai kihívások a CERN kutatási programjában”, Miskolc, 2019. október 18
- [38] L. Li, K. Nagai, és F. Yin, „Progress in cold roll bonding of metals”, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, köt. 9, sz. 2, o. 023001, ápr. 2008, doi: 10.1088/1468-6996/9/2/023001.
- [29] M. Elazdoui, H. Danesh Manesh, és K. Janghorban, „Investigation of roll bonding between aluminum alloy strips”, *Mater. Des.*, köt. 29, sz. 4, o. 909–913, jan. 2008, doi: 10.1016/j.matdes.2007.03.020.
- [33] S. M. Ghalebandi, M. Malaki, és M. Gupta, „Accumulative Roll Bonding—A Review”, *Appl. Sci.*, köt. 9, sz. 17, o. 3627, szept. 2019, doi: 10.3390/app9173627.
- [38] L. Vaidyanath, M. Nicholas, és D. Milner, „Pressure welding by rolling”, *Bri. Weld. J.*, köt. 6, o. 13–28, 1959.
- [39] Q. Qin, D. Zhong, Y. Zang, és B. Guan, „A simulation study on the multi-pass rolling bond of 316L/Q345R stainless clad plate”, *Adv. Mech. Eng.*, köt. 7, sz. 7, o. 168781401559431, júl. 2015, doi: 10.1177/1687814015594313.
- [42] M. Li és S. J. Zinkle, „Physical and Mechanical Properties of Copper and Copper Alloys”, in *Comprehensive Nuclear Materials*, Elsevier, 2012, o. 667–690. doi: 10.1016/B978-0-08-056033-5.00122-1.
- [48] V. Mertinger és mtsai, „Deformability Tests of Pure Niobium”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, köt. 903, o. 012019, aug. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/903/1/012019.
- [54] A. N. Behero, R. Kapoor, A. Sarkar, és J. K. Chakravorty, „Hot deformation behaviour of niobium in temperature range 700–1500°C”, *Mater. Sci. Technol.*, köt. 30, sz. 6, o. 637–644, máj. 2014, doi: 10.1179/1743284713Y.0000000387.
- [55] B. Bayle, P. Bacher, J. J. Jonas, és F. Montheille, „Flow stress and recrystallisation during hot deformation of Cu–9%Sn alloys”, *Mater. Sci. Technol.*, köt. 15, sz. 7, o. 803–811, júl. 1999, doi: 10.1179/026708399101506445.
- [56] N. Ravilehdaran, „Influence of oxygen on dynamic recrystallization during hot working of polycrystalline copper”, *Material Science and Engineering*, köt. 195–204, n. 10, 1992.

- [57] I. Itoh és T. Sasaki, „Critical current density of superconducting NbTi/Nb/Cu multilayer composite sheets”, *Cryogenics*, sz. 35, o. 403–404, 1995.
- [59] H. Hillmann, „Fabrication Technology of Superconducting Material”, *Supercond. Mater. Sci. Metall. Fabr. Appl.*, köt. 275–388, 1981.
- [60] D. C. Larbalestier, P. J. Lee, és R. W. Samuel, „The Growth of Intermetallic Compounds at a Copper-Niobium-Titanium Interface”, in *Advances in Cryogenic Engineering Materials*, köt. 32, R. P. Reed és A. F. Clark, Szerk. Boston, MA: Springer US, 1986, o. 715–722. doi: 10.1007/978-1-4613-9871-4_85.
- [61] X. Leying, W. Wenbin, és Z. Yuzhi, „Diffusion reactions between Cu and NbTi alloy”, *Acta Metall. Sin.*, köt. Series B, sz. Vol. 2 2 No 1 pp, o. 41–47, 1989.
- [62] C. Scheuerlein és mtsai, „Temperature induced degradation of Nb-Ti/Cu composite superconductors”, *J. Phys. Conf. Ser.*, köt. 234, sz. 2, o. 022031, jún. 2010, doi: 10.1088/1742-6596/234/2/022031.
- [63] V. Raginel és mtsai, „First Experimental Results on Damage Limits of Superconducting Accelerator Magnet Components Due to Instantaneous Beam Impact”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, köt. 28, sz. 4, o. 1–10, jún. 2018, doi: 10.1109/TASC.2018.2817346.
- [65] M. Konieczny, „Processing and microstructural characterisation of laminated Ti-intermetallic composites synthesised using Ti and Cu foils”, *Mater. Lett.*, köt. 62, sz. 17–18, o. 2600–2602, jún. 2008, doi: 10.1016/j.matlet.2007.12.067.
- [66] C.-S. Yoon és D.-G. Lee, „Effects of Post Heat Treatment on the Mechanical Properties of Cold-Rolled Ti/Cu Clad Sheet”, *Metals*, köt. 10, sz. 12, o. 1672, dec. 2020, doi: 10.3390/met10121672.
- [67] Y. K. Kim, H. Pouraliakbar, és S. I. Hong, „Effect of interfacial intermetallic compounds evolution on the mechanical response and fracture of layered Ti/Cu/Ti clad materials”, *Mater. Sci. Eng. A*, köt. 772, o. 138802, jan. 2020, doi: 10.1016/j.msea.2019.138802.
- [68] M. Liu, L. Bai, és Y. Deng, „Facilitating strong interfacial bonding of immiscible Nb/Cu system using consumable Ti interlayer”, *Vacuum*, köt. 196, o. 110782, febr. 2022, doi: 10.1016/j.vacuum.2021.110782.

Köszönettel tartozunk Köszönetet mondok Dr. Bánhídi Olivérnek az ICP vizsgálatokért, Dr. Czél Györgyné Janovszky Dórának a DSC vizsgálatokért. A minták kimunkálásáért és előkészítésekért köszönettel tartozom Boda Sándornak és Márkus Zoltánnának.

„A kutatómunkám az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

A Blücher-kemencék jelentősége a fémmátrixú összetett anyagok kutatásában

Dobránszky János

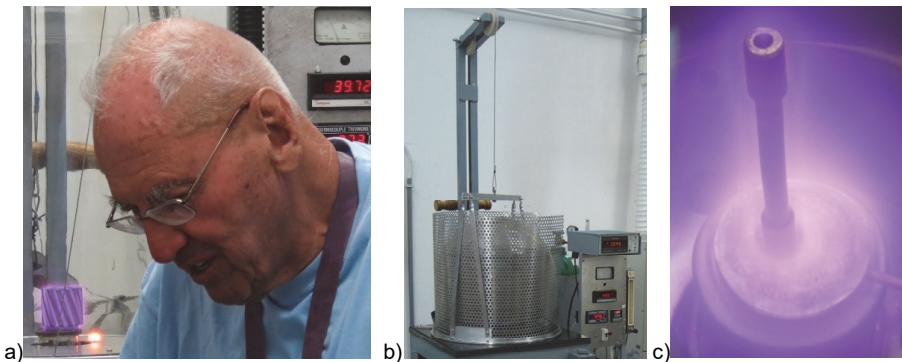
Tudományos tanácsadó, ELKH-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport.

e-mail: Dobranszky.Janos@eik.bme.hu, telefon: +36 1 463 1934

A hazai szakirodalomban – a MATARKA szerint [1] – a „kemence” szó éppen 122 éve jelent meg [2]. Ezután a „hőkezelés” szavunkra 50 évet kellett várni [3]. Ez nem kevés, de azért közben még forgalomban volt a „melegkezelés”, amelynek első említésére még Trianont valami kicsivel megelőzően került sor [4]. Az „összetett anyagok” első említésével 1973-ban találkozhattak a szakemberek [5]. Nem sokáig tartotta magát ez szép, magyar szakkifejezés; jött a ma már mindennapos, angolos hidegvérrel végzett lefejezés [6], s bár még tett egy kísérletet a magyar szaknyelv a „kombinált anyaggal” [7], a „kompozit” alighanem véglegesen elfoglalta a trónt [8, 9, 10]. A [9] sorszámu cikk szerzői között találjuk *Brenner Andrást* – aki a magyar hegesztési szakma egyik kiemelkedő alakja, az anygalföldi hajógyár hegesztési főmérnöke volt –, a bostoni Massachusetts Institute of Technology-nak (az MIT-nek) a hegesztésmetallurgiában világhírnevet szerzett, ma is aktív professzorát, *Thomas Eagert*, valamint az e dolgozat címében szereplő kemencék névadóját, *Blücher Józsefet*.

Blücher József 1953-ban szerzett gépészmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának gépjármű tagozatán. 1956 novemberéig a *Gillemot László* által vezetett Mechanikai Technológiai Intézetben dolgozott. Az 1956-os forradalom leverése után emigrált, két évig Párizsban tanult és dolgozott, majd Bostonba került az MIT-ra. Ennek elvégzése után itt szerzett doktori fokozatot, és közben olyan új kutatási területek felélesztésében játszott fontos szerepet, mint a nagy hőmérsékleten üzemelő szerkezeti anyagok kifaradási és kúszási élettartamának növelése, az ionnitridálás, a szerszámacélok elektronnyalábas felületi edzése, az izosztikus melegsajtolás (angolul: HIP) és végül az alumíniummátrixú összetett anyagok fejlesztése. Mindegyik területen alapvető megközelítési mód volt a gyakorlati alkalmazás céljával folyó kutatómunka, amit eleve garantált az az „apróság”, hogy a kutatásokat az USA nagyvállalatai rendelték meg.

Az összetett anyagok kutatásában kicsúcsosodó Blücher-életmű kemenceépítési vonulatának megalapozását az MIT-n és a vele szomszédos Northeastern University-n (NEU) is a műanyagfröccsöntő gépek csigáinak élettartamát többszörösére növelő ionnitridálás kutatása [11, 12, 13] és az ehhez szükséges kemencék kifejlesztése jelentette. Az USA-ban ezeket a kemencéket sorozatban gyártotta az MIT-s professzorok által alapított és *Blücher József* által irányított vállalat (mai szakszóval: szpinoff). Plazmanitridáló kemencét talán soha nem is gyártottak Magyarországon, mindaddig, amikor 2014-ben *Blücher* professzor meg nem építette egy kutatási célokra szolgáló kemencét a Műegyetem anyagtechnológiai tanszékén; ez a berendezés látható az 1. ábrán.

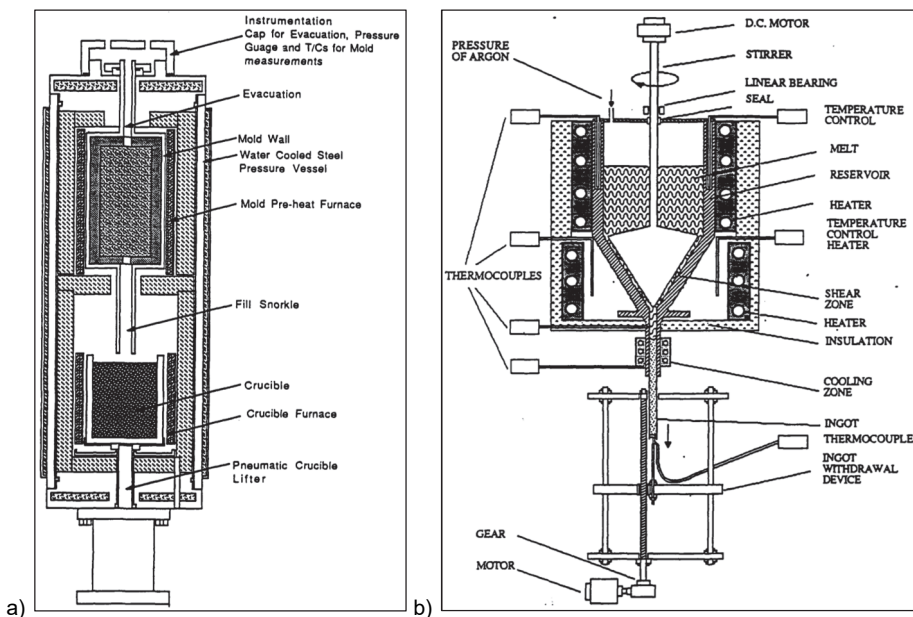


1. ábra – A BME anyagtechnológia intanzékén 2014-ben épített plazmanitridáló kemence

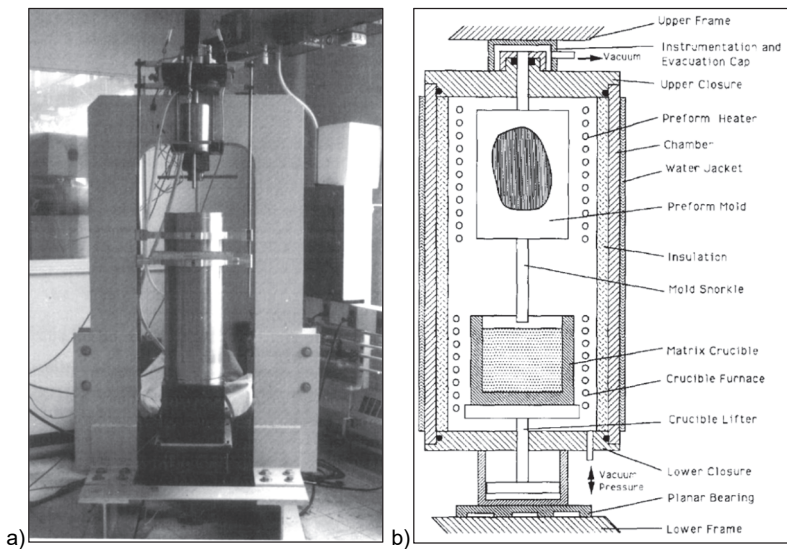
A fémmátrixú összetett anyagok kutatásának igazán lendületes korszaka az 1980-as évekre esik. Azokon a bostoni egyetemeken, amelyeken *Blücher József* egyidejűleg (!) dolgozott – az MIT (Materials processing Center) és a NEU (Metal Matrix Composite Laboratory) mellett a Boston University –, nagyszerű kutatógárda gyűlt össze, pl. *V. Gupta, A.S. Argon, M.C. Flemings, J.A. Cornie, A. Mortensen, V. Michaud, R.M. Pelloux* és a magyar *Julian Székely*. A feladatokat a repülési ipar, az űrkutatási ipar és a szénszálgártó ipar legnagyobb vállalatai szállították [14, 15]. A kerámiával erősített, alumíniummátrixú összetett anyagok előállítására kifejlesztett, vákuumozás után gáznyomásos besajtolásra alkalmas kemencék tervezésében és megépítésében *Blücher József* volt a kulcsembert. Az MIT-n megépített nyomásos besajtolókemence, illetve a folyamatos öntéses kemence vázlata látható a 2. ábrán [16] s fényképe a 3. ábrán [17]. Az egyszerű kivitelű és kisméretű nyomásos besajtolókemencék gyártására külön vállalatot alapítottak az MIT-s professzorok.

A 3. ábrán látható, viszonylag nagy méretű (~300×60×60 mm-es) tömbök előállítására alkalmas kemencéből *Blücher József* a NASA és a 3M részére is épített egyet-egyet, valamint a NEU-ra. Itt hozta létre az 1990-es évek közepén a „saját” laboratóriumát, és ide építette meg ebből a fajta besajtolókemencéből az USA-beli tevékenysége utolsó példányát, amely a 4. ábrán látható. Ez a besajtolókemence felfogható egy kisnyomású HIP-kemencének: vákuumozható, 1100 °C-ig fűthető, és egy gázrendszeren keresztül 120 bar-ig nyomás alá helyezhető. A nyomástartó acéltest kettős falú, a külső burkolat vízhűtéses.

Ezt a kemencét 2004-ben, amikor *Blücher József* a bostoni NEU-ról nyugdíjba vonult, a BME-nek ajándékozta. A laboratóriuma további csúcshozzáféréseivel együtt leszerelte, becsomagolta egy hajókonténerbe, és Budapestre küldte, majd 2005-ben egy bő fél éves munkával a laboratóriumot újra felépítette. Ebben a munkában meghatározó szerepet játszott *Németh Árpád* is, aki egyébként az ezredfordulón egy egész évet dolgozott *Blücher professzornál* Bostonban. A 2005-ben végzett építkezés és berendezés egyik pillanatát örökíti meg az 5. ábrán látható kép, amelyen a laboratóriumba beszerelt 6 db kemence mindegyike látható. Ezek közül kettő olyan, amelyet kifejezetten az összetett anyagok gyártása céljára tervezett és épített *Blücher József*. Az egyik az eddig emlegetett besajtolókemence – a 6. ábra mutat néhány jellegzetes terméket, amelyek ebben a kemencében készültek –, a másik pedig a világon egyedülálló, folyamatos huzalgyártó kemence.



2. ábra – Az alumíniummátrixú összetett anyagok gyártására az MIT-n megépített kemencék hosszszeti vázlata; a) nyomásos besajtolókemence, b) folyamatos öntéses kemence [16]



3. ábra – Az alumíniummátrixú összetett anyagok gyártására az MIT-n megépített, nagyméretű tömbök előállítására alkalmas besajtolókemence képe (a) és hosszszeti vázlata (b) [17]



a)

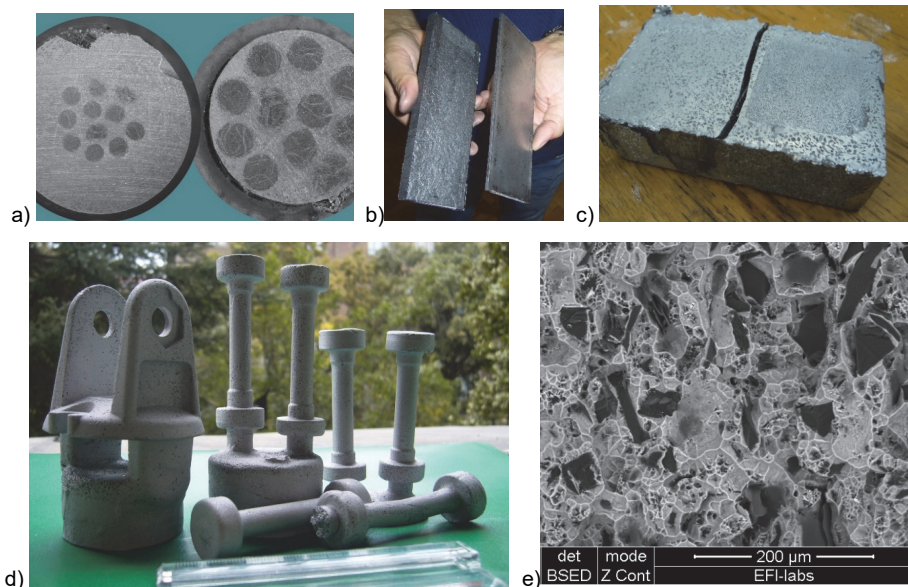


b)

4. ábra – A bostoni NEU-ról Budapestre került, nagyméretű tömbök előállítására alkalmas besajtolókemence kemence fényképe (a) és az azt 2022-ben éppen lezáró gyártója, *Blücher József*

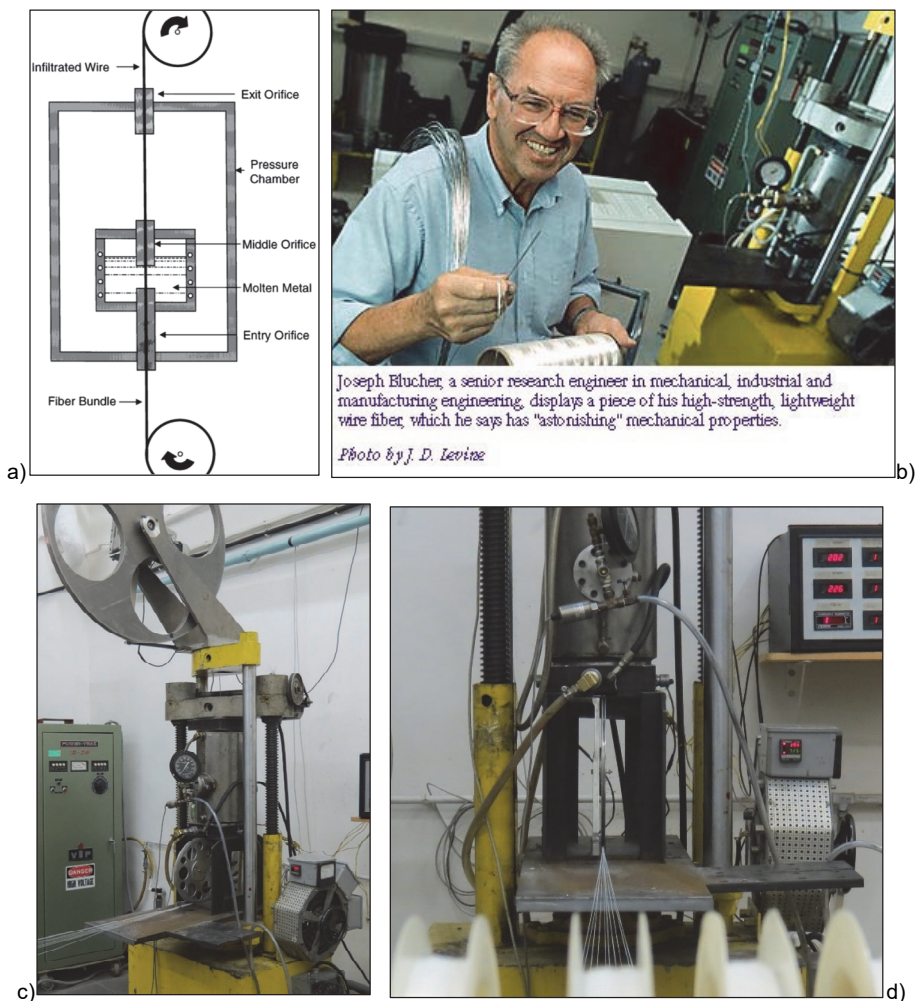


5. ábra – A Bostonból Budapestre került kemencék 2005-ben, a laboratórium berendezései; a Blücher-kemencék acélszerkezete sárga színű. A vákuumozható, nyomásos besajtolókemence a képen jobbra, hátul található. A kép középső részét tölti ki a folyamatos huzalgyártó kemence



6. ábra – A Blücher-féle besajtolókemencében készült termékek; a) ún. „gradiens anyagú” rudak keresztmetszete, b) kerámiaerősítésű vékony lapok, c) nyílt cellás cinkhab (készült 2022-ben), d) részecskeerősítéses, precíziós öntvények, e) a b) képen látható lemez töretfelülete

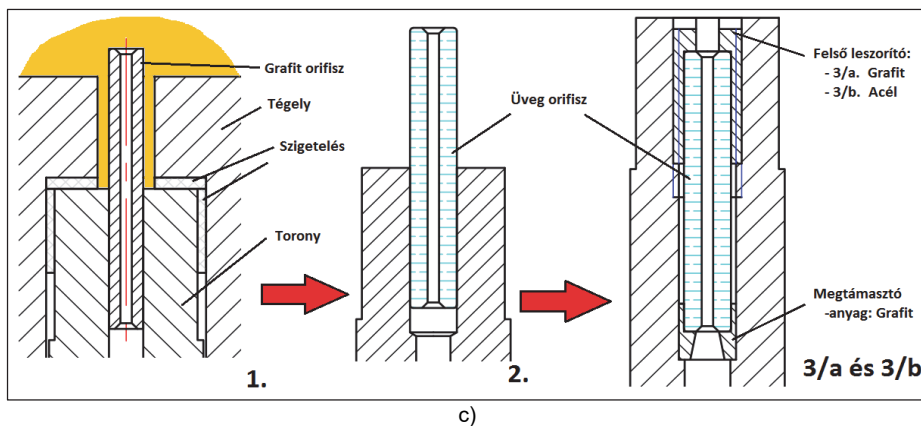
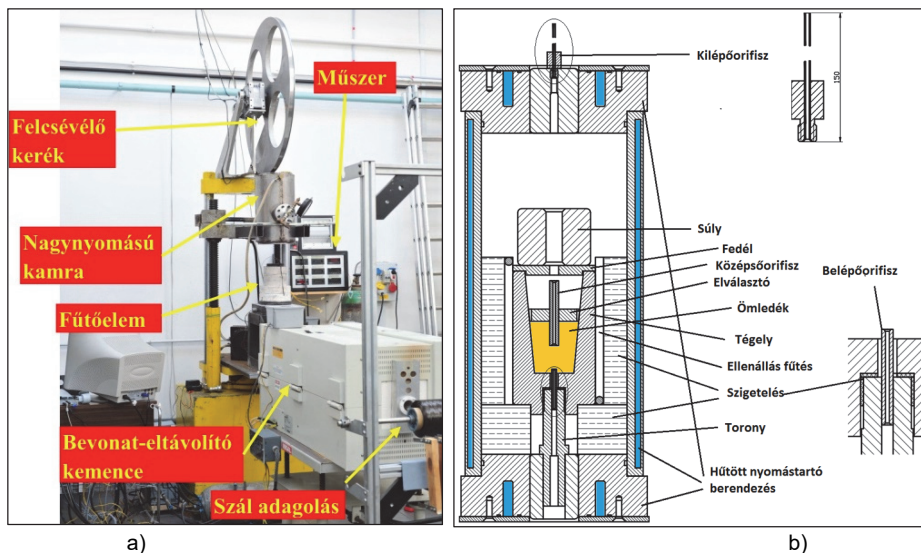
Az 5. ábra középső részén látható egy rendkívül egyedi berendezés. Ez *Blücher Józsefnek* a talán legeredetibb találmánya: az alumíniummátrixú huzalok folyamatos gyártására alkalmas berendezés [18, 19, 20]. A találmányt megvásárolta a japán Yazaki vállalat, miközben Bostonban, kb. tíz éven át izgalmas kutatások zajlottak [21, 22, 23, 24]. Ennek a berendezésnek az egyik szerkezeti egysége az erősítőszálak áthúzására szolgál, a másik pedig maga a kemence. A 7. ábrán régi (a, b) és a Budapesten, 2005-től tíz éven át végzett kompozithuzalgyártási program egyik nagy projektje során készült képek láthatók (c, d). Ekkor, 2013-ban, egy német-országi fejlesztővállalat megbízásából készültek nagy tisztaságú kerámiaszálak kötegeivel erősített huzalok. Ugyanebben az évben adott megbízást egy nagy, japán szénszálgyártó cég arra, hogy kétféle termékének a felhasználásával állítsunk elő alumíniummátrixú huzalokat.



7. ábra – a) A szálerősítéses alumíniumhuzalok folyamatos gyártására alkalmas Blücher-kemence vázlata [25]. b) Blücher József a bostoni NEU-n működő laboratóriumában az ezredfordulón, vállán a világon egyedülálló termékkel, a kerámiaszál-erősítésű alumíniumhuzallal, c-d) a kerámiaszál-kötegek bevezetésével folyó gyártás 2013-ban, a BME ATT-n

Ennek az ún. folyamatos huzalgéártó Blücher-kemencének a lelke a fűtött, vákuumozható és nyomás aláhelyezhető térben lévő olvasztótégely, amelyen folyamatosan áthúzzható a bevezetett erősítőszál-köteg. Az olvasztótégely grafitból készül, és olyan bevezető- és kivezetőkapuk a részei, amelyeknek menet közben is meg kell akadályozniuk az alumíniumolvadék kispriccelését a besajtolási nyomás hatására. Az utolsó nagy projekt a japán szénszállakkal erősített alumíniumhuzalok gyártása volt. Nagy kihívás volt a bolyhozódásra és szakadásra való erős hajlam leküzdése, de ezt két kiváló, fiatal kutatóval, *Törzsök Péterrel* és *Tihanyi Károllyal*, közösen sikerült leküzdenni. A siker titka a szénszállköteg bevezetésére szolgáló kapurendszer („orifisz”) 8.c ábra szerinti, több lépéses átalakítása volt. A folyamatos Blücher-

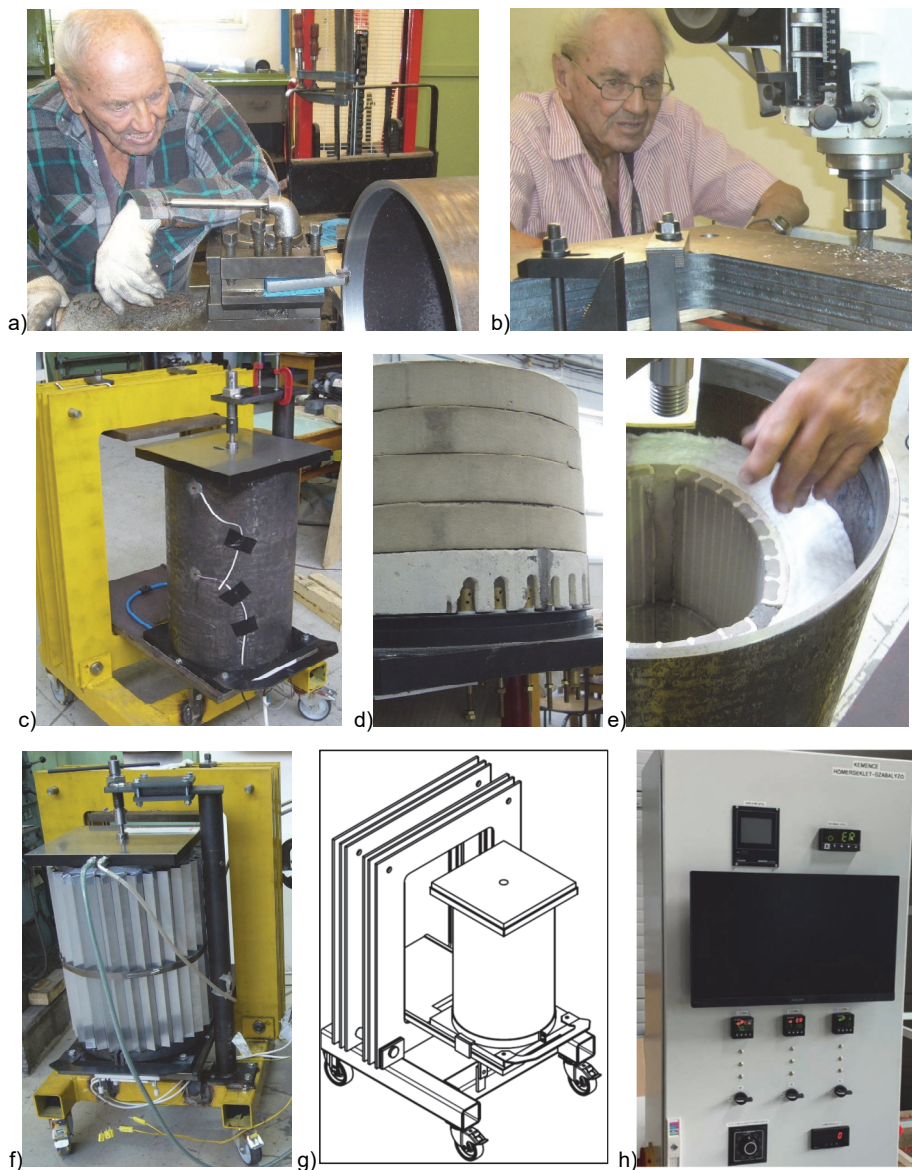
kemence teljes környezete és kiszolgálóegységei láthatók a 8.a ábrán, míg magának a kemencének a részletes, hosszmetzeti vázlata a 8.b ábrán.



8. ábra – a) A szálerősítéses alumíniumhuzalok folyamatos gyártására alkalmas Blücher-kemence teljes környezete a BME ATT-n, b) a kemence hosszmetzeti vázlata az eredeti kialakításban, c) a bemeneti kapu kialakításának fejlesztési fázisai: 1, 2, 3/a és 3/b. A fejlesztések révén teljesen új olvasztótégely, torony, bemeneti kapu, középső kapu és kimeneti kapu készült. A bemeneti és a középső kapu kihúzóadását gépszerkezeti fejlesztésekkel sikerült megoldani, a szénszálköteg bolghozódásának a leküzdését pedig a grafitnak kvarcüveggel való felváltása oldotta meg

Különös kihívást jelentett az a kemence, amelyet 2018 végén rendelt meg az európai űrkutatási projektekben is részt vevő, magyar Aedus Space Kft. A kihívást a vákuumozható és nyomástartó kamra nagy átmérője jelentette. Ennek a Blücher-kemencének a tervezését az anyagrendeléseket még a floridai, téli szálláshelyéről szervezte Blücher József, és 2019 áprilisában hazatérve nekiállt a gyártásnak. Elképesztő mennyiségű és pontosságú munkát

végzett (9.a-f ábra), aminek eredményeként a kemence a nyár végére elkészült; a vezérlést az Aedus-Space maga építette (9.g ábra).



9. ábra – a-b) A „Blücher-006” kódjelű besajtolókemence fődarabjainak forgácsolása, c) a nyomóskamra a víznyomáspróba előtt felbélyegezve, d-e) a fűtőelemek beszerelése, f) a fűtési teszt, g) a szerkezeti vázlat, h) az Aedus-Space által épített fűtésvezérlés és gázrendszer

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] www.matarka.hu
- [2] *Korda Dezső*: A villamos kemence termékei. A Magyar Mérnök és Építész Egylet közlönye, 34. kötet (1900) 77–81. oldal
- [3] *Halmos György – Pálvölgyi Árpád – Kurovsky István*: Könyvismertetés: Emőd Gyula – Jakóby László: Könnyűfémek kovácsolása; Bella Ede: Színes- és könnyűfémek hőkezelése; Buray Zoltán: Az alumínium kötésmódjai. Alumínium – a Bányászati és Kohászati Lapok melléklete (1952), 4. évfolyam, 6. szám, 140–142. oldal
- [4] *Kerpely Kálmán*: A chróm-nikkel-acélfajták melegkezelése I-II. Bányászati és Kohászati Lapok (1919) 52. évfolyam, 1–8. szám, 17–25. oldal
- [5] *Berényi László*: "Összetett anyagok" kongresszusa és kiállítása Lyonban. Gépgyártástechnológia (1973) 13. évfolyam, 2. szám, 71. oldal
- [6] *Czvikovszky Tibor*: Fa-poliészter kompozitok előállítása és alkalmazása. Magyar kémikusok lapja (1982) 37. évfolyam, 2. szám, 78–87. oldal
- [7] *Kombinált anyagú hengerdobozok = Cylindrical boxes from composite materials.* Magyar alumínium (1987) 24. évfolyam, 3–4. szám, 131–132. oldal
- [8] *Áttekintés I.: Fémek és fémalapú kompozitok (MMC-k).* Bányászati és kohászati lapok. Kohászat (1993) 126. évfolyam, 7–8. szám, 287–288. old
- [9] *Brenner András – Blucher, J. T. – Eager, T. W.*: A metál mátrixú kompozitok hegeszthetősége a 6061/Al₂O₃ ponthegeesztési technológiája. Hegesztéstechnika (1993) 4. évfolyam, 4. szám, 9–15. oldal
- [10] *Jokinen A – Rauta V – Wiik B – Uuttu T – Sänätjoki M*: Porkohászati úton és öntve gyártott alumíniumötvözet-mátrixú kompozit termékek gyártása és tulajdonságai. Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat (1994) 127. évfolyam, 3–4. szám, 158–164. oldal
- [11] *Blucher J – Bang K – Giessen BC*: Preparation of the metastable interstitial copper nitride, Cu₄N, by d.c. plasma ion nitriding. Materials Science and Engineering: A, 117 (1989) L1–L3
- [12] *Blucher J – Marchev K – Gokhale S – Giessen BC*: Phase formation, kinetics and microhardness of the nitride layer in ion nitrided 316L stainless steel. MRS Online Proceedings Library, 205 (1990) 269–274, doi: 10.1557/PROC-205-269
- [13] *Marchev K – Cooper CV – Blucher JT – Giessen BC*: Conditions for the formation of a martensitic single-phase compound layer in ion-nitrided 316L austenitic stainless steel. Surface and Coating Technology, 99 (1998) 225–228
- [14] *Cornie JA – Zhang G-D – Li O – Zhang S-Y – Kowing BE – Blucher JT*: Pressure infiltration processing of P-55(graphite) fiber reinforced aluminum alloys. In M.D. Sachs (ed.): Ceramic Transactions, Advanced Composite Materials, The American Ceramic Society, Westerville, OH (1991) 861–875.
- [15] *Li, Qiong – Gou, Ding Zhang – Blucher, Joseph T – Cornie James A*: Microstructure of the interface and interfiber regions in P-55 reinforced aluminum alloys manufactured by pressure infiltration. In: Hatsuo Ishida (editor): Controlled Interphases in Composite Matenals. Proceedings of the Third International Conference on Composite Interfaces (ICCI-III) held on May 21–24, 1990 in Cleveland, Ohio, USA. Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York (1990) 131–145
- [16] *Laboratory for the processing and evaluation of inorganic matrix composites; Annual Technical Report, June 1989, AD-A2016 881 (1989)*
- [17] *Blucher JT*: Discussion of a liquid metal pressure infiltration process to produce matal matrix composites. Journal of Materials Processing Technology, 30 (1992) 381–390

- [18] *Blucher Joseph T*: High voltage electrical power transmission cable having composite-composite wire with carbon or ceramic fiber reinforcement. US Patent, US20050061538A1 (2001)
- [19] *Blucher Joseph – Katsumata Makoto*: Method for manufacturing composite materials. US Patent US20030150585A1 (2003)
- [20] *Blucher JT*: Gating system for continuous pressure infiltration processes. S Patent, US005736199A (1998)
- [21] *Blucher JT – Doktor M*: A new pressure infiltration process for continuous production of fiber reinforced MMC structural elements. Proc 30th Int SAMPE Tech Conf (1998) pp. 442–455
- [22] *Narusawa U – Blucher JT*: Thermofluid analysis of entrance section of a continuous pressure infiltration process for fiber-matrix composites. Journal of Porous Media, 3 (2000), pp. 69–78
- [23] *Blucher JT, Narusawa U, Katsumata M, Nemeth A*: Continuous manufacturing of fiber-reinforced metal matrix composite wires – technology and product characteristics. Composites: Part A, 32 (2001) 1759–1766
- [24] *Blucher JT, Dobranszky J, Narusawa U*: Aluminium double composite structures reinforced with composite wires. Materials Science and Engineering, A 387–389 (2004) 867–872
- [25] *Williams MG – Isaacs JA – Nadler JH – Sampson SL – Kowalski GJ – Blucher JT*: Analytically motivated process improvements in continuous metal–matrix composite wire fabrication. Materials Science and Engineering A266 (1999) 86–92

In situ tomográfia alkalmazásának előnyei a szerkezetvizsgálatban

Bubonyi Tamás, Barkóczy Péter, Kemény Alexandra,
Gácsi Zoltán

Miskolci Egyetem



The slide features a blue background with a white YXLON X-ray tomography machine on the left. The machine has a large blue window and a control panel. Above the machine is a logo for '3D Lab' and the text 'Infrastructure for Fine Structure Analysis'. To the right of the machine, the title 'In situ tomográfia alkalmazásának előnyei a szerkezetvizsgálatban' is written in white. Below the title, the authors' names are listed: 'Bubonyi Tamás, Barkóczy Péter, Kemény Alexandra, Gácsi Zoltán'. At the bottom left is a logo for 'XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás'. At the bottom right is the 'MISKOLCI EGYETEM' logo.

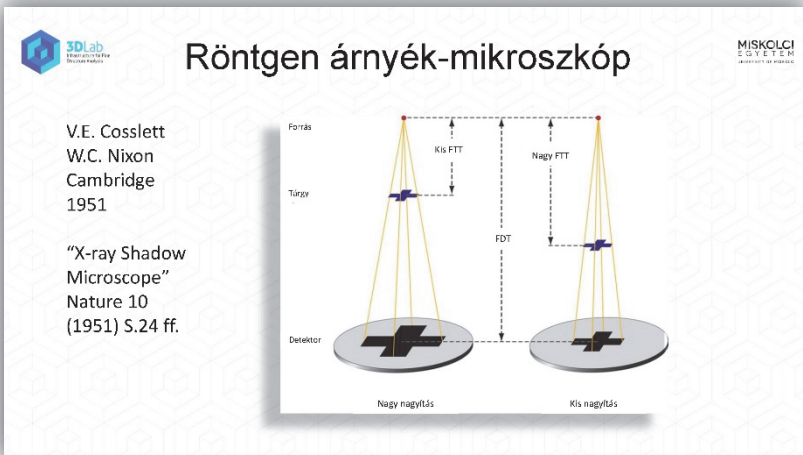
Infrastructure for Fine Structure Analysis

In situ tomográfia alkalmazásának előnyei a szerkezetvizsgálatban

Bubonyi Tamás,
Barkóczy Péter,
Kemény Alexandra,
Gácsi Zoltán

XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás
Balatonfüred, 2022. október 5-6-7.

MISKOLCI EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC



The slide features a white background with a blue '3D Lab' logo in the top left. The title 'Röntgen árnyék-mikroszkóp' is written in black. Below the title, the authors' names are listed: 'V.E. Cosslett, W.C. Nixon, Cambridge, 1951'. Below the names, the text '“X-ray Shadow Microscope” Nature 10 (1951) S.24 ff.' is written. On the right side, there is a diagram of X-ray shadow microscopy. The diagram shows two setups: 'Nagy nagyítás' (High magnification) and 'Kis nagyítás' (Low magnification). Both setups show a 'Forrás' (Source) at the top, a 'Tárgy' (Object) in the middle, and a 'Detektor' (Detector) at the bottom. The 'Nagy nagyítás' setup has a larger 'FTT' (Focal Transfer Distance) and a smaller 'FDT' (Focal Distance to Detector). The 'Kis nagyítás' setup has a smaller 'FTT' and a larger 'FDT'. The diagram also shows the 'Kis FTT' and 'Nagy FTT' labels.

3D Lab
Infrastructure for Fine Structure Analysis

Röntgen árnyék-mikroszkóp

V.E. Cosslett
W.C. Nixon
Cambridge
1951

“X-ray Shadow Microscope”
Nature 10
(1951) S.24 ff.

Forrás
Tárgy
Detektor

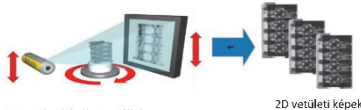
Kis FTT
Nagy FTT
FDT

Nagy nagyítás
Kis nagyítás

MISKOLCI EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC

Hogyan működik a CT?

1. Különböző szögekben rögzített kétdimenziós vetületi képek



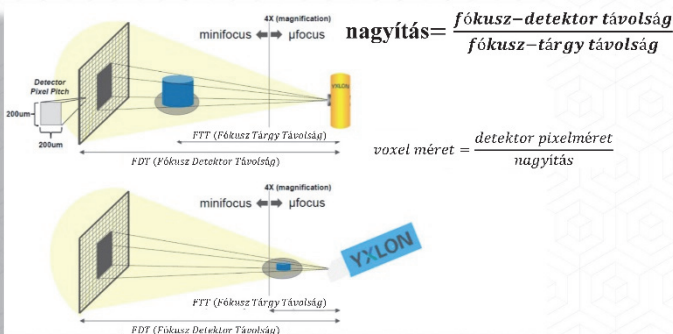
2. 2D vetületi képek összefűzése



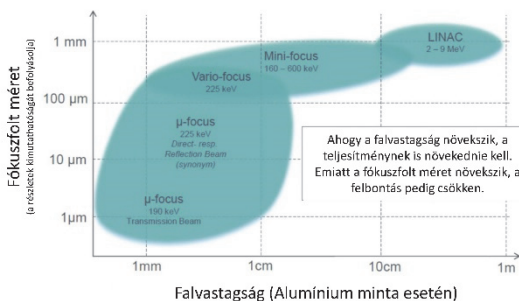
3. Kiértékelés 3D kiértékelőprogram segítségével



Voxel méret



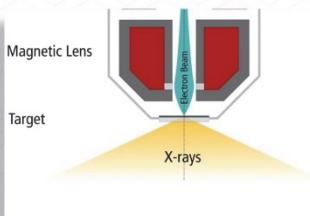
Foltméret vs. penetráció



- Vizsgálható mintaméret:
 $\varnothing 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$.
- 3,9 megapixeles detektor.
- Duál csöves felépítés (transzmissziós és direkt röntgensövek).
- Felbontás:
3D-ben $0,6 \mu\text{m}$, 2D-ben $0,15 \mu\text{m}$
- Metrológia mérési hiba:
max $3,2 \mu\text{m} + L/75$.
- A kiértékelés és megjelenítés:
VGStudio MAX 3.2.

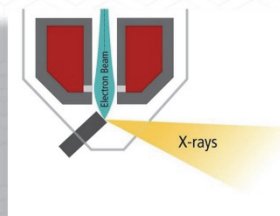


Transzmissziós röntgenső

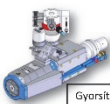


nagyobb nagyítás

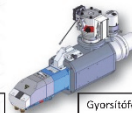
Direkt röntgenső



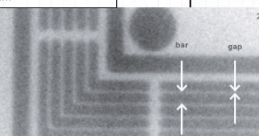
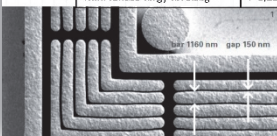
nagyobb teljesítmény



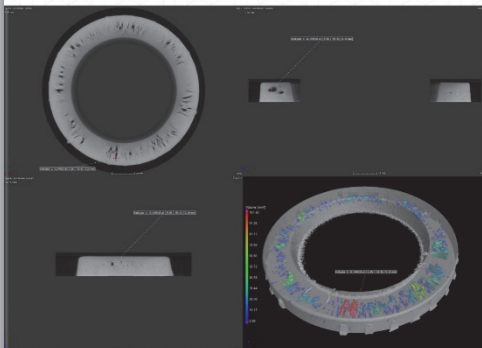
Gyorsítófeszültség	20 – 190 kV
Csőáram max. feszültségnél	79 μA
Teljesítmény	15 W max.
Antikatód anyaga	Volfrám
Részletek kimutathatósága	$> 0,6 \mu\text{m}$ (3D)
	$> 0,15 \mu\text{m}$ (2D)
Min. fókusztávolság	$> 0,25 \text{ mm}$



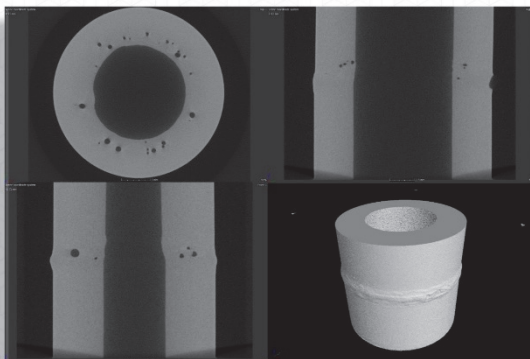
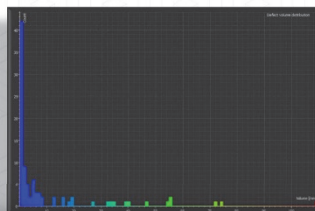
Gyorsítófeszültség	20 – 225 kV
Csőáram (max. feszültségnél)	3 mA (1,4 mA)
Teljesítmény	280 W max.
Antikatód anyaga	Volfrám
Részletek kimutathatósága	$> 4 \mu\text{m}$
Min. fókusztávolság	$> 6,71 \text{ mm}$



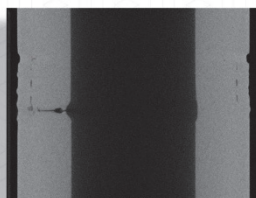
- Teljes 3D képkalkotást tesz lehetővé
- Belső anyaghibák (repedés, pórusok) kimutatása
- Geometriai meghatározás, méret meghatározás, CAD modell összehasonlítás
- Komplex, összeszerelt szerkezetek vizsgálata
- Fémek
- Kerámiák
- Műanyagok
- Papír
- Kőzetek
- Ásványok



Porozitás vizsgálat
alumínium
öntvényben

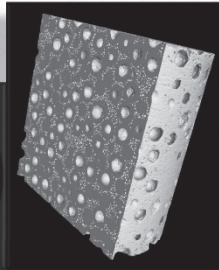
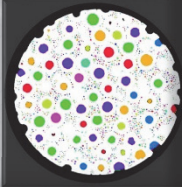
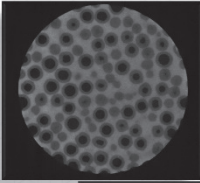


Porozitás vizsgálat,
hibakeresés
hegesztett acél
szerkezetben

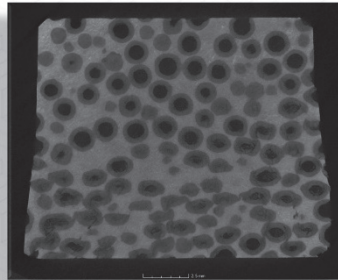
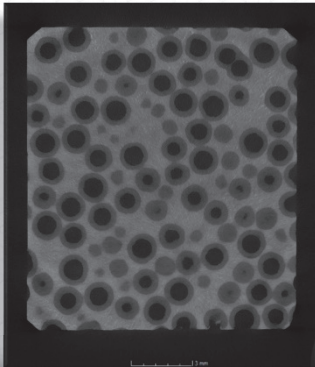


Alkalmazási területek

Kerámia gömbhéjakkal
erősített alumínium
belső szerkezetének
vizsgálata

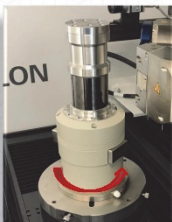


Alkalmazási területek



Terhelés hatásának vizsgálata

Az *in situ* mechanikai vizsgálat: húzás, nyomás, 3 és 4 pontos hajlítás



Max. 10 mm elmozdulás a kamrában:

Szakítás: min. 10 mm-ről → 20 mm-re.

Zömítés: 15 mm-ről → 5 mm-ig.

Hajlítás: 5 mm-től → -5 mm-ig (vastagság: max. 4,9 mm; szélesség: max. 10 mm, hosszúság: min. 24 mm).

Az adatok rögzítése: 100 ms-től → 5 sec-ig.

Mozgási sebesség: 0,1 mm/perc-től → 1,5 mm/perc-ig.

A mozgást lehet időre, erőre, illetve relatív vagy abszolút elmozdulásra vezérelni.

Ciklikus terhelés

Konstans terhelés

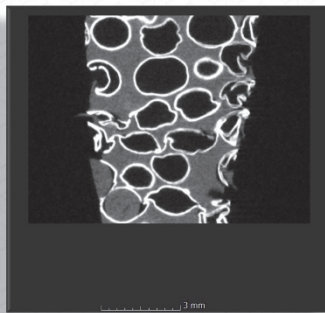
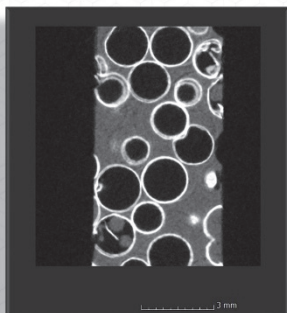
Terhelés: 1 kN-os vagy 5 kN-os erőmérő.



Szakítás: min. 10 mm-ről $\rightarrow$ 20 mm-re.



Vas gömbhéjas szerkezet zömítése 10 mm-ről → 7 mm-re.



Infrastructure for Fine
Structure Analysis

Köszönöm a figyelmet!

fembubo@uni-miskolc.hu

„A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-22-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”



XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás
Balatonfüred, 2022. október 5-6-7.

MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MATEMATICS

Porozitás vizsgálata nem hétköznapi módon, *in situ* komputertomográfias vizsgálattal

Kazup Ágota, Dr. Fegyverneki György, Dr. Gácsai Zoltán

Miskolci Egyetem

Miskolci Egyetem

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

Anyag- és Vegyészmérnöki Kar

Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet



MISKOLCI
EGYETEM

Alumínium öntvényben előforduló pórusszerkezetek jellemzése különböző

szerkezetvizsgálati módszerekkel, avagy

Porozitás vizsgálata nem hétköznapi módon, *in situ* komputertomográfias vizsgálattal

Kazup Ágota, Fegyverneki György és Gácsai Zoltán

XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás
Balatonfüred, 2022. október 5-6-7.



Bevezetés - Szerkezetvizsgálat

A szerkezetvizsgálat fontos az öntészeti ipari minőségellenőrzés és a technológiai fejlesztések során.

Porozitás → repedés

Rontja a mechanikai tulajdonságokat.

Kritikus pontok:

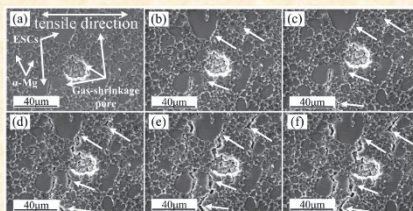
- nagy pórus
- felület közeli pórusok
- komplex morfológiájú pórusok

A pórusok szerkezetvizsgálata lényeges!

Pórus morfológia → keletkezés oka.

Gáz-zsugorodásos pórus:

(a) 0 MPa, (b) 40 MPa, (c) 148 MPa, (d) 179 MPa,
(e) 197 MPa és (f) 210 MPa. (ESCs: externally solidified crystals)



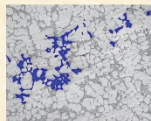
X. Li et al. (2016)

2

Bevezetés – Módszerek és célok

Gyakorlatban alkalmazott vizsgálati módszerek:

- Optikai mikroszkópos vizsgálatok
- 2D-s és 3D-s CT-s vizsgálatok és elemzések
- Sűrűségből porozitás meghatározás
- Radiográfias vizsgálatok

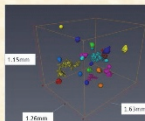


Zeiss Axio Imager
optikai mikroszkóp

S. Shukla (2020)



Archimedes a kádban - Madatech,
Haifa, Izrael



A.B. Foit et al.
(2017)

Irodalmi áttekintés – A porozitás meghatározására alkalmas módszerek bemutatása

Kazup et al (2022)	Sűrűség	Radiográfia	3D CT	2D CT	OM
Vizsgálati idő	Rövid	Rövid	Mérsékelt	Mérsékelt	Hosszú
Röntcsolás mentes	Igen	Igen	Igen	Igen	Nem
A kép felbontása	Nem képalkotó módszer	100 - 300 µm	3,5 - 36 µm	3,5 - 36 µm	0,3 - 2,5 µm
A vizsgálat eredményét befolyásoló tényezők	- A pórusok nyitottsága és inhomogenitása; - a folyadék-közeg típusa, tisztasága, hőmérséklete; - a minta tisztasága, felületi minősége; - a tömegmérés pontossága	- A vizsgálati darab mérete; - a pórusok helye, összetettsége	- Az anyag minősége, vastagsága; - az alkalmazott teljesítmény, az expozíciós idő, a szkennelés típusa, a röntgenszöveg alkalmazott szűrő; - a felvétel minősége: kontraszt, zajmentesség; - a felvétel felbontása: nagytítás, mintaméret; - a felvételek kiértékelési folyamata	- A felvétel felbontása; - a nagytítás mértéke és a metszetek száma; - a szerkezet összetettsége	- A nagytítás mértéke és a felvételek száma; - a pórusok inhomogenitása: anizotróp szerkezet esetén több irányú metszeten történő vizsgálat javasolt
Meghatározható porózusjellemzők	- Csak az összporozitás mérhető	- A pórus csak vizuálisan látható; - a helye hozzávetőlegesen határozható meg	- Összporozitás, pórusméret, alak, térbeli eloszlás	- A minta teljes metszete vizsgálható; - összporozitás, pórusméret, alak; - az eloszlás térben sorozat metszettel határozható meg	- Összporozitás, pórusméret, alak; - az eloszlás térben sorozat metszettel határozható meg
Költségek	Kicsi	Mérsékelt	Nagy	Nagy	Mérsékelt

Kísérletek és vizsgálatok – Próbatestek, a kísérlet koncepciója

AlSi7MgCu0,5 öntött alumínium **csökkentett nyomáspróbák**, melyeket a

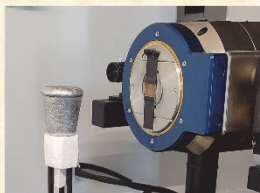
Nemak Győr Alumíniumöntő Kft. állította elő.



$$V_v = A_A$$

- A 3D-s CT-s felvételek VGStudio MAX 3.3-vel számított porozitás (V_v),
- 2D-s CT-s felvételek ImageJ-vel meghatározott porozitás (A_A),
- Csiszolatok OM felvételein ImageJ-vel meghatározott porozitás (A_A) összehasonlítása.

Átlagértékük azonos, ha
a 2D-s metszetek statisztikailag reprezentálják a 3D-s szerkezetet.



- A vizsgált régió méretének szerepe a számítógépes elemzések során,
- A szűrkekép átalakítás szerepe a mérési eredményekre.

A próbatestek sűrűsége:

2,661 (g/cm³)
2,659 (g/cm³)
2,593 (g/cm³)
2,554 (g/cm³)
2,496 (g/cm³)
2,468 (g/cm³)

Porozitás nő:



Kísérletek és vizsgálatok - Próbatetek, a kísérlet koncepciója

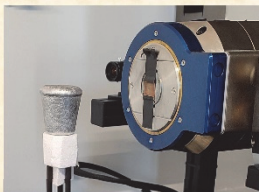
AlSi7MgCu0,5 öntött alumínium **csökkentett nyomáspróbák**, melyeket a

Nemak Győr Alumíniumöntöde Kft. állította elő.

$$V_V = A_A$$

- A 3D-s CT-s felvételek VGStudio MAX 3.3-vel számított porozitás (V_V),
- 2D-s CT-s felvételek ImageJ-vel meghatározott porozitás (A_A),
- Csiszolatok OM felvételein ImageJ-vel meghatározott porozitás (A_A) **összehasonlítása**.

Átlagértékek azonos, ha a 2D-s metszetek statisztikailag reprezentálják a 3D-s szerkezetet.



- A vizsgált régió méretének szerepe a számítógépes elemzések során,
- A szűrkekép átalakítás szerepe a mérési eredményekre.

A próbatetek sűrűsége:

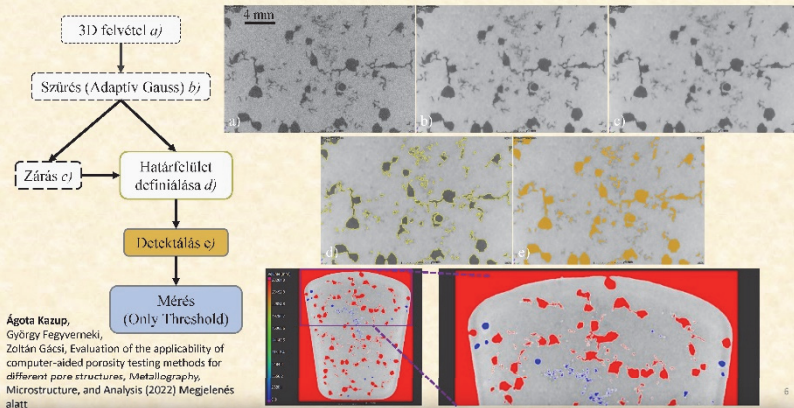
2,661 (g/cm³)
2,659 (g/cm³)
2,593 (g/cm³)
2,554 (g/cm³)
2,496 (g/cm³)
2,468 (g/cm³)

Porozitás nő:



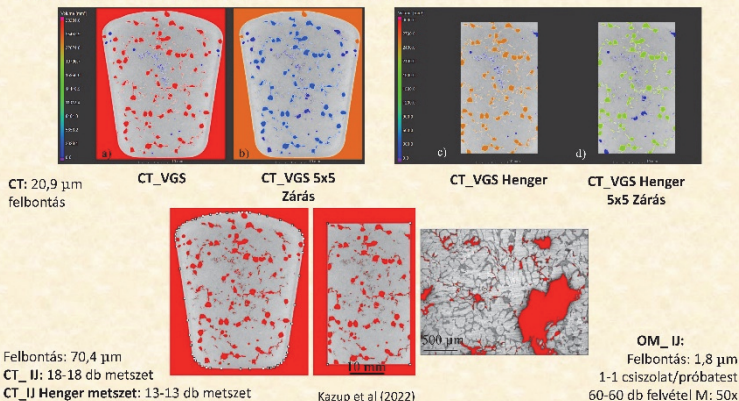
5

Kísérletek és vizsgálatok - 3D-s CT-s felvételek vizsgálata a VGStudio MAX 3.3 szoftverrel



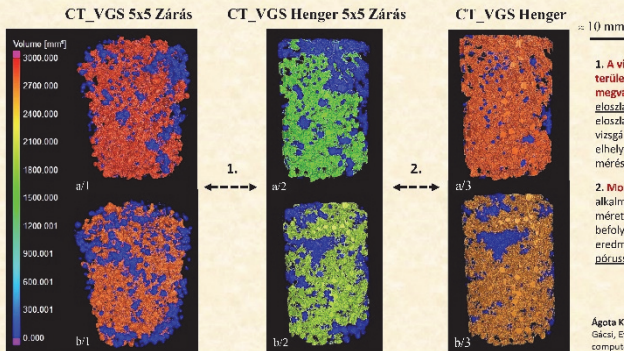
6

Kísérletek és vizsgálatok - 3D-s és 2D-s elemzés



7

Eredmények - A vizsgált térfogat hatása a mért porozitásra



1. A vizsgált térfogat, illetve terület méretének megváltoztatásával a porozitás eloszlása jellemezhető, inhomogén eloszlás esetén a próbatestben a vizsgált térfogat, illetve metszet elhelyezkedése befolyásolja a mérési eredményt.
2. Morfológiai transzformáció alkalmazása esetén a pórusok mérete és összetettsége befolyásolja a mérési eredményeket. → Alkalmas a pórusszerkezetek jellemzésére.

Ágota Kazup, György Fegyvermei, Zoltán Gácsi, Evaluation of the applicability of computer-aided porosity testing methods for different pore structures, Metallography, Microstructure, and Analysis (2022)

a) 2,496 g/cm³, b) 2,468 g/cm³ sűrűségű próbatest

8

Eredmények - A pórusszerkezet és a módszerek közötti kapcsolat

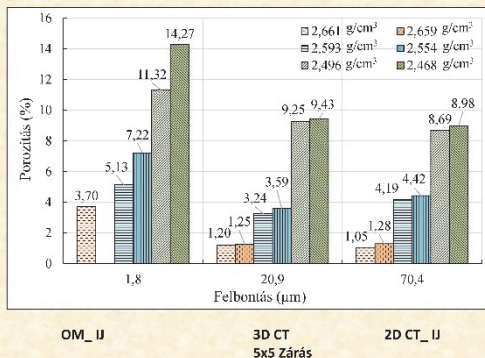
Pórusszerkezet	OM_UJ	3D CT_VGS	2D CT_UJ
Kisebb, vékonyabb összetett és különálló pórus	Jól mérhető	Mérhető	Kevésbé mérhető
Nagyobb, vastagabb összetett és különálló pórus	Mérhető	Jól mérhető	Mérhető
Inhomogén póruseloszlás	Kevésbé mérhető	Jól mérhető	Mérhető
Nyitott pórusok jelenléte	Nincs befolyással	A nyitottság mértékétől függően mérhető	Nincs befolyással

Kazup et al (2022)

9

Eredmények - A felvételek felbontása és a meghatározott porozitás kapcsolata

Kazup et al (2022)



A 2,554 g/cm³ és 2,593 g/cm³ sűrűségű próbatestek esetén valamivel kisebb a porozitás érték, a 2,659 g/cm³ sűrűségű próbatestek esetén pedig közel azonos.

→ A 20,9 μm felbontású CT vizsgálat esetén a szerkezet morfológiai transzformáció esetén át, így a mért pórusérték valamivel kisebb mint eredeti állapotában.

10

A pórusok és az öntvények mechanikai tulajdonságának kapcsolata

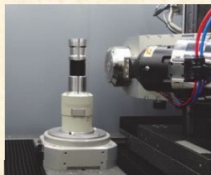
A pórusszerkezet (öntési technológia) és a mechanikai tulajdonságok közötti kapcsolat vizsgálatára lehetőség nyílik.

Pórusok mennyisége, helye, morfológiája, mérete $\leftrightarrow$ szakítószilárdság, nyúlás, hajlító- és nyomószilárdság, alakváltozás.

- **In-situ vizsgálatok:** Deben CT5000 anyagvizsgáló berendezéssel, 1 kN-os vagy 5 kN-os erőmérő cellák, a CT berendezés kamrájában, az anyagvizsgálat közben röntgenfelvételek készülnek.
- **Ex-situ vizsgálatok:** hagyományos módon, Instron 5982 univerzális anyagvizsgáló berendezéssel, max. 100 kN.



INSTRON 5982



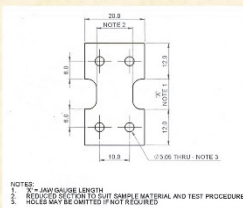
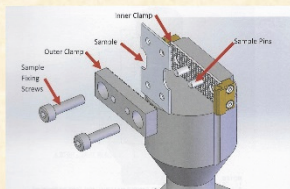
DEBEN CT5000

YXLON FF35 μ -CT

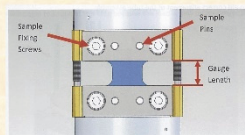
20-225 kV

11

Az *in situ* mechanikai vizsgálat: húzás



Szakítás: min. 10 mm-ről → 20 mm-re.

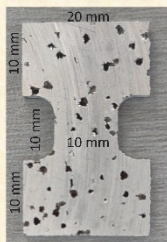


Acéllemez szakítása

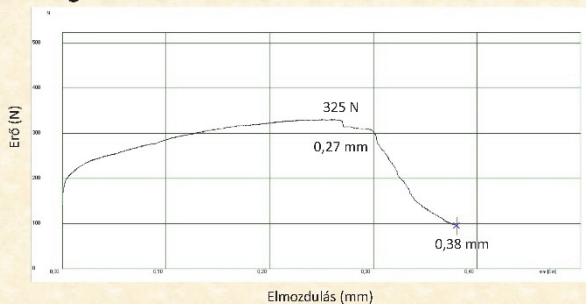
DEBEN CT5000

12

Az *in situ* mechanikai vizsgálat: húzás



Vastagság: 1,5 mm



Az *in situ* mechanikai vizsgálat: húzás

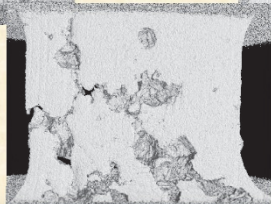
Alumínium öntvényből kimunkált próbatest szakítása



Kezdeti, 0 mm

11,5 μm felbontás

12,1 x-es nagyítás



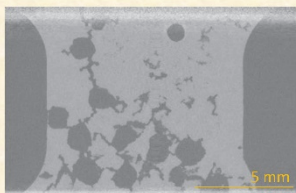
0,38 mm

1 mm-re távolított



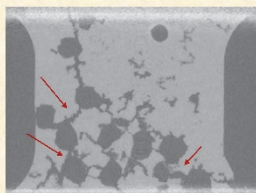
14

Az *in situ* mechanikai vizsgálat: húzás

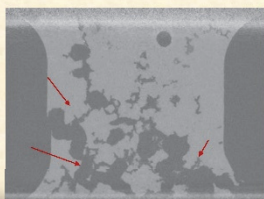


Kezdeti, 0 mm

5 mm



0,38 mm

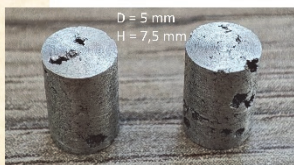
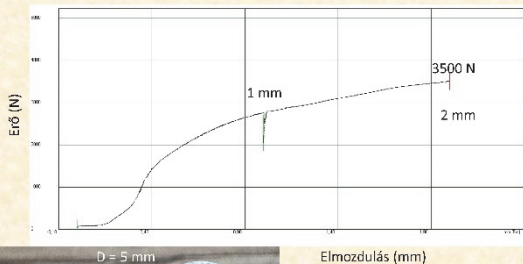
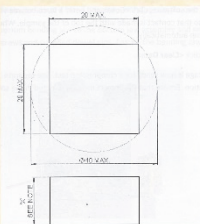
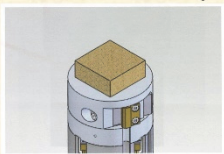


1 mm-re távolított

15

Az *in situ* mechanikai vizsgálat: nyomás

Zömítés: 15 mm-ről 5 mm-ig.

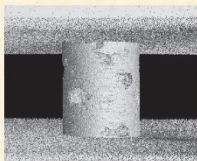


D = 5 mm
H = 7,5 mm

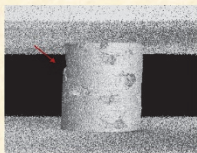
Elmozdulás (mm)

16

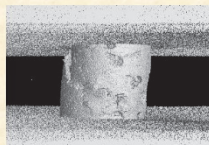
Az *in situ* mechanikai vizsgálat: nyomás



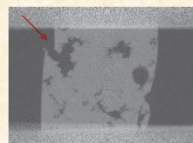
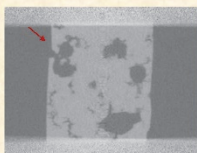
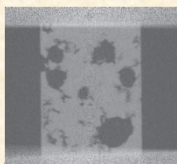
Kezdeti



1 mm



2 mm



5 mm

17

**Köszönöm a megtisztelő
figyelmet!**

Elérhetőség:

Miskolci Egyetem

Anyag- és Vegyészmérnöki Kar

Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

C/1 épület 1. emelet, 3D Lab

(<http://3dlabtest.uni-miskolc.hu>)

E-mail: femagota@uni-miskolc.hu



A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-22-3 KÖDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG
PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI,
FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus viselkedésének vizsgálata

Dr. Czagány Máté¹, Dr. Baumli Péter¹, Dr. Kaptay György^{1,2}

¹ Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport

Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar



Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus viselkedésének vizsgálata

Czagány Máté¹, Baumli Péter¹, Kaptay György^{1,2}

¹Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

²MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport



XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia és Szakkiállítás

Balatonfüred

2022.10.5-7.

1. Bevezetés

Nano-multirétegek (NML): különböző anyagminőségű, nano-vastagságú (<100 nm) rétegek

- Belső határfelületek (fázis-, szemcsehatárok) jelentős szerepe



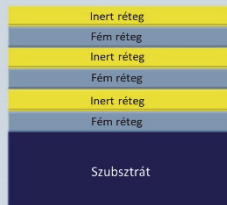
Fizikai, kémiai tulajdonságok megváltozása, pl. szaktítség növekedés, olvadáspont csökkenés

Fizikai gőzfázisú leválasztás (PVD): rétegépítés hatékony módszere

- Nem-egyensúlyi, metastabil szerkezet
- Multiréteg megbízható alkalmazása: termikus stabilitás, stabilitási határok ismerete

Új megközelítés a kötéstechológiában:

- Speciális nanokompozit
- Nano-effektusok lehetősége: csökkentett olvadáspont, megnövekedett atomi mobilitás



2. Kutatás célja

1. Cu-alapú nano-multiréteges rendszer fejlesztése: Cu/Al-O-N

- Cu számára elválasztó réteg: Alumínium-oxinitrid (Al-O-N)

2. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus viselkedésének vizsgálata

Alkalmazott anyagvizsgálati technikák:

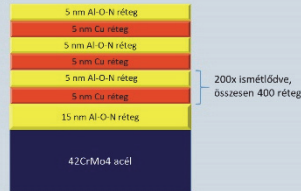
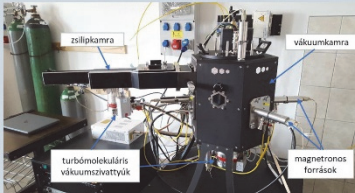
- Fókuszált-ionsugaras pásztázó elektronmikroszkópia (PFIB-SEM)
- Transzmissziós elektronmikroszkópia (TEM)
- Nagyhőmérsékletű röntgendiffrakciós analízis (HT-XRD)
- Pásztázó differenciál kalorimetria (DSC)

2

3. Cu/Al-O-N nano-multiréteg kialakítása

Felhasznált hordozók (szubsztrátok)

Szubsztrát	Méret (mm)	Összetétel (tömeg%), EDS
42CrMo4 acél	10×7,5×4	0,9% Cr, 0,7% Mn, 0,2% Mo, 0,2% Si; 97,85% Fe
α -Al ₂ O ₃ lapka	10×10×0,2	52,7% Al, 47,3% O

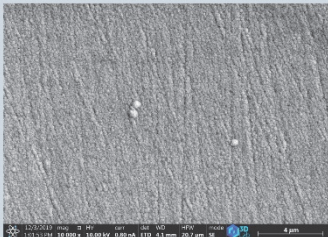


Kísérleti paraméterek	Megfelelő bevonatra vonatkozó értékek	
	Cu	Al-O-N
Áramforrás	DC	RF
Üzemi nyomás (mbar)	5×10^{-3}	$7,5 \times 10^{-3}$
Ar gázáram (s-cm ³ /perc)	90	90
N ₂ és O ₂ gázáram (s-cm ³ /perc)	-	20
Áramerősség (mA)	110	-
Feszültség (V)	620	-
Teljesítmény (W)	68	130

3

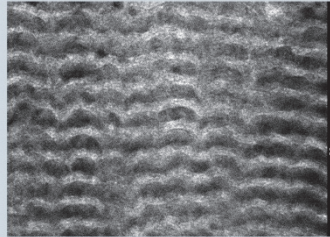
4. Cu/Al-O-N nano-multiréteg szerkezete

Felületi morfológia:



PFIB-SEM felvétel

Keresztmetszeti:



TEM felvétel

EDS elemösszetétel

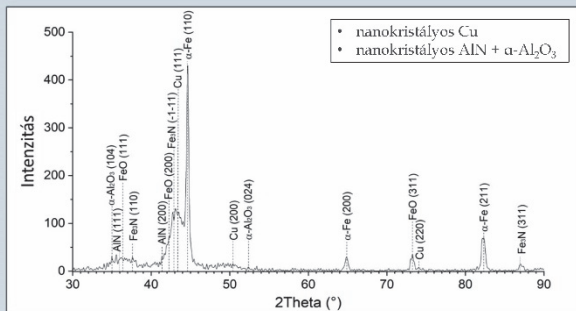
Elem		Cu	Al	O	N	Fe
Összetétel	tömeg%	72,2	10,7	6,6	6,4	4,1
	atom%	45,9	16,1	16,7	18,5	2,9

Cu rétegek ≈ 6,7 nm
Al-O-N rétegek ≈ 4,8 nm

4

4. Cu/Al-O-N nano-multiréteg szerkezete

Fázisszerkezet (XRD):



Cu/Al-O-N nano-multiréteg szobahőmérsékleten felvett XRD diffraktogramja

5

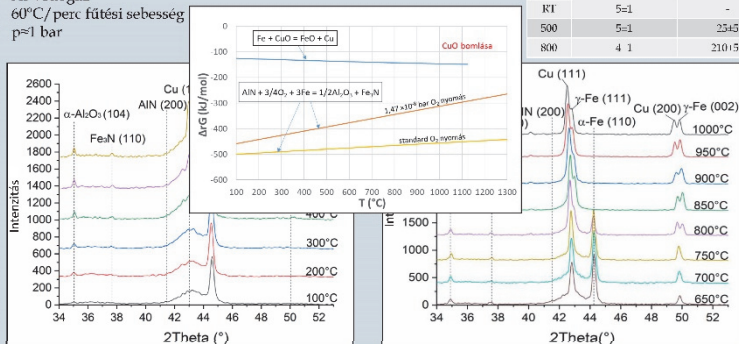
4. Cu/Al-O-N nano-multiréteg szerkezete

HT-XRD

- Ar védőgáz
- 60°C/perc fűtési sebesség
- p=1 bar

Rietveld analízis:

T (°C)	Kristallitméret (nm)	
	Nanokristályos Cu	Durvult Cu
RT	5±1	-
500	5±1	25±5
800	4 ± 1	210 ± 50

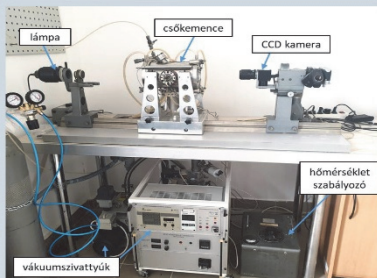


6

5. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus vizsgálata

Hőntartási kísérletek

- 100, 200, 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1000°C hőmérséklet
- p=(7 ± 2) × 10⁻⁸ bar
- 10 perces hőntartás



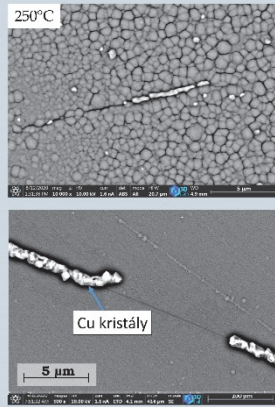
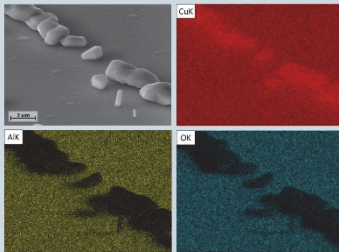
7

5. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus vizsgálata

Termikus viselkedés 750°C alatt

Hőntartási kísérletek

- 100, 200, 250, 350, 450, 550, 650°C hőmérséklet
- $p=(7 \pm 2) \times 10^{-8}$ bar
- 10 perces hőntartás

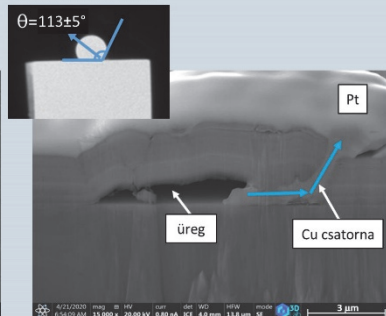
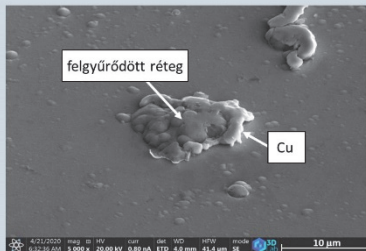


8

5. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus vizsgálata

Termikus viselkedés 750°C alatt

450°C-os hőntartás:



Cu diffúzió hajtóereje: $\sigma_{Cu/berakntu} \downarrow$, rossz nedvesítés

$$a_{Cu} \approx 16,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} > a_{AlON} \approx 4,7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}; a_{AlN} \approx 5,3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

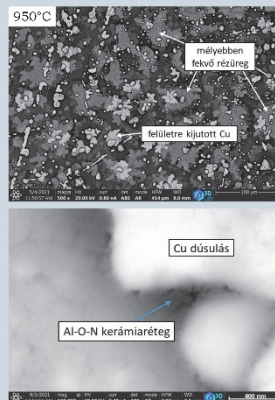
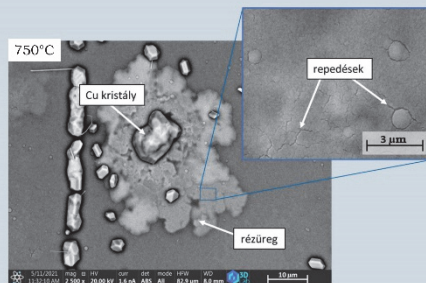
$$a_{Al2O3} \approx 8,1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

9

5. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus vizsgálata

Termikus viselkedés 750°C felett

Cu/Al-O-N nano-multiréteg felülete:

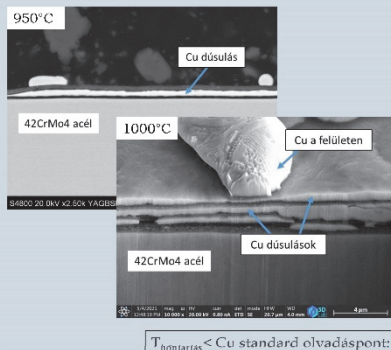


10

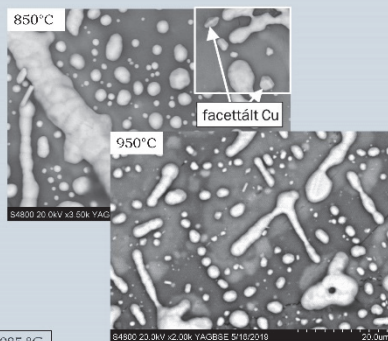
5. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus vizsgálata

Termikus viselkedés 750°C felett

Cu/Al-O-N nano-multiréteg keresztmetszete:



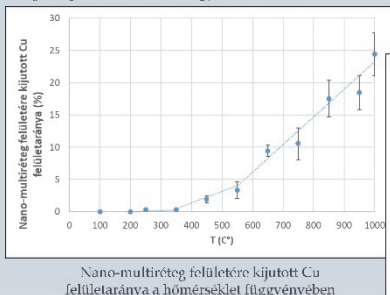
Cu/Al-O-N nano-multiréteg felülete:



11

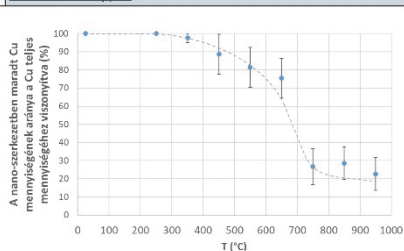
5. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus vizsgálata

ImageJ képelemző szoftver alapján:



Nano-multiréteg felületére kijutott Cu felületaránya a hőmérséklet függvényében

EDS mérés alapján:



Nanoszerkezetben maradt Cu mennyisége, a Cu teljes mennyiségéhez viszonyítva

12

5. Cu/Al-O-N nano-multiréteg termikus vizsgálata

DSC mérés:

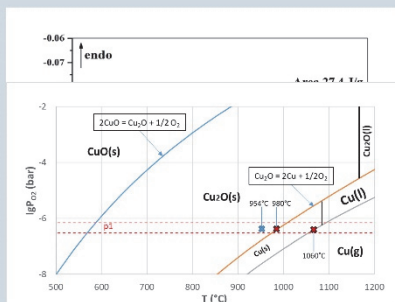
- $p = 10^{-2}$ bar nagyságrend
- 10 °C/perc fűtési sebesség
- Cu/AlON multiréteggel bevont α - Al_2O_3 lapkák

Exoterm csúcs: 400-800°C (-0,857 J)

- Cu nanokristallitok durvulása (-0,198 J, 23%)
- Cu kristályok részleges oxidációja a multiréteg felületén (max. -0,02 J, 2%)
- AlN oxidációja Al_2O_3 -dá (-0,639 J, 75%)

Endoterm csúcs: 954-1200°C (5,86 J)

- 954°C: Cu nanorétegek olvadása (0,04 J, 131°C-os o.p. csökkenés)
- Cu kristályok felületi oxidrétegének disszociációja (0,02 J)
- Cu szublimációja (5,8 J)



Cu-O rendszer számított fázisdiagramja

13

6. Összegzés

A Cu/AlN-Al₂O₃ nano-multiréteg termikus viselkedésének vizsgálata alapján az alábbi megállapítások tehetők:

1. Hőntartási kísérletek alapján a Cu 250°C-tól kezdődően kezd megjelenni a multiréteg felületén, facettált kristályok formájában, alapvetően kétféle formációban: szabályos egyenesekbe rendeződve, illetve a felületi gyűrődések környezetében
2. Mindkét esetben a Cu megjelenése a kerámia rétegekben kialakult repedéseken keresztül ment végbe, mely repedések kialakulásának oka a kerámia réteget alkotó fázisok (AlN, Al₂O₃) és a Cu lineáris hőtágulási együtthatóinak különbsége. Az eltérő hőtágulási együttható egy folyamatosan növekvő nyomást eredményez a multirétegen belül, melynek eredménye a Cu multiréteg felületére történő szilárd fázisú áramlása
3. A hőmérséklet növelésével nő a rézüregek mennyisége a multirétegben, 750°C felett a felületen megjelent, alacsonyabb hőmérsékleten még facettált megjelenésű Cu kristályok egyre inkább lekerekednek. A lekerekedés mechanizmusa a kristályok mérete (>1µm), illetve a DSC vizsgálat eredménye alapján szilárd fázisú diffúzió
4. A hőntartás hőmérsékletének növelésével nő a multiréteg Cu kristályokkal lefedett felületaránya, melynek oka a felületen megjelenő réz mennyiségének növekedése

14

6. Összegzés

5. DSC vizsgálat alapján, termodinamikai számítások segítségével megállapítható, hogy 400-800°C között a Cu nanorétegek durvulása, a Cu kristályok felületi oxidációja, illetve a kerámia rétegek AlN fázisának átalakulása történik Al₂O₃ fázissá
6. A 954-1250 °C között mért endoterm folyamat során: a még nanoszerkezetben maradt Cu olvadása indul meg 954°C-on (131°C-os o.p. csökkenés), amit a felületi Cu₂O disszociációja, illetve a mikroszerkezetű Cu olvadása, és párolgása követ

15

Publikációs tevékenység

A kutatási témában megjelent publikációk:

J1. Czágány M, Varanasi D, Sycheva A, Janovszky D, Koncz-Horváth D, Kristály F, Baumli P, Kaptay G. Synthesis, characterisation and thermal behaviour of Cu-based nano-multilayer. *J Mater Sci* 56, 7823–7839 (2021).

J2. Czágány Máté, Koncz-Horváth Dániel, Baumli Péter. Cu/AlN-Al₂O₃ nano-multiréteg mikroszerkezetének vizsgálata. *Anyagok Világa, (Materials Word)* 1, 6-11 (2021).

J3. M. Czágány, D. Koncz-Horváth, P. Baumli, G. Kaptay. Spontaneous inversion of the submicron ceramic layer deposited on steel and the copper droplet positioned on their top (case of ceramic poorly wetted by liquid Cu). *J Mater Sci* 57, 1648–1668 (2022).

16

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom az alábbi kollégáknak a kutatásban nyújtott segítségükért, az elvégzett vizsgálatokért:

- Dr. Baumli Péter
- Dr. Kaptay György
- Dr. Koncz-Horváth Dániel
- Dr. Sycheva Anna
- Kovács Árpád
- Dr. Kristály Ferenc
- Dr. Czöl Györgyné
- Karacs Gábor
- Márkus Zoltánné
- Bodnárné Nyári Napsugár
- Márkus Zoltán
- Boda Sándor
- Dr. Svéda Mária

A kutatómunka a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült. A kutatás a GINOP-2.3.2-15-2016-00027 jelű „Kristályos és amorf nanoszerkezetű anyagok kutatásával és fejlesztésével foglalkozó kiválósági műhely fenntartható működése” című projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával valósult meg. Köszönettel tartozom az **Innovációs Laboratórium Kft.-nek** (Miskolc, Magyarország) a Hitachi S-4800 típusú Hideg téremissziós Páztázó elektronmikroszkóp (SEM) és a hozzá kapcsolt Bruker AXS energia-diszperziós röntgensugaras spektrométerrel (EDS) végzett vizsgálatokért.

17

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

**Köszönjük a kiállítóink
részvételét is a konferenciánkon:**



Anton Paar

oerlikon
balzers



Struers

Ensuring Certainty



IMAGE-SCIENCE
IMAGE IN FOCUS

Anton Paar Kft.

IGS-Kontakt Kft.

Image-Science Kft.

Oerlikon Balzers Coating Austria Magyarországi Fióktelepe

Struers GmbH Magyarországi Fióktelep



Fotó: Vönöczky András
címzetes egyetemi docens
PTE-MIK Gépészmérnöki Tanszék