



XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány
a Gépgyártásban Országos
Konferencia és Szakkiállítás

2018. október 3-4-5.

XXVIII. Heat Treatment and Materials Science
for Mechanical Engineering National Conference
and Exhibition with Foreign Participants

3-4-5 October 2018

*Kultúra, technológia, innováció,
versenyképes növekedés*

*Culture, technology, innovation,
competitive growth*

ELŐADÁSOK PROCEEDINGS

támogatónk:

MESSER 
Gases for Life



Kultúra, technológia, innováció, versenyképes növekedés

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

Balatonfüred • 2018. október 3-4-5.

ELŐADÁSOK



PROCEEDINGS

Culture, technology, innovation, competitive growth

**XXVIII. HEAT TREATMENT AND MATERIALS SCIENCE
FOR MECHANICAL ENGINEERING NATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION
WITH FOREIGN PARTICIPANTS**

Balatonfüred • 3-4-5 October 2018

TÁMOGATÓNK (SUPPORTER):



SZERKESZTETTE: Dr. TÓTH Tamás, HOHOL Róbert

EDITED BY: Dr. Tamás TÓTH, Róbert HOHOL

A KONFERENCIA ELNÖKE: Dr. TÓTH Tamás

CHAIRMAN OF THE CONFERENCE: Dr. Tamás TÓTH

A RENDEZŐ BIZOTTSÁG TAGJAI:

ANTAL Péter, Dr. CSURBAKOVA Tatjana, Dr. DÉVÉNYI László, Dr. DOBRÁNSZKY János,
FERENCI Norbert, HANYECZ Imre, JUHÁSZ Gyula, KAJTÁR Péter, KUMMER Zoltán,
Dr. KUZSELLA László, Dr. MERTINGER Valéria, NÉMET Zoltán, RÓZSAHEGYI Péter,
Dr. SZOMBATFALVY Árpád, Dr. TRANTA Ferenc

ORGANIZING COMMITTEE:

Péter ANTAL, Dr. Tatjana CSURBAKOVA, Dr. László DÉVÉNYI, Dr. János DOBRÁNSZKY,
Norbert FERENCI, Imre HANYECZ, Gyula JUHÁSZ, Péter KAJTÁR, Zoltán KUMMER,
Dr. László KUZSELLA, Dr. Valéria MERTINGER, Zoltán NÉMET, Péter RÓZSAHEGYI,
Dr. Árpád SZOMBATFAVY, Dr. Ferenc TRANTA

A KONFERENCIA NYELVEI: magyar, angol

THE LANGUAGES OF THE CONFERENCE: Hungarian, English

LEVELEZÉSI CÍM (MAILING ADDRESS OF THE CONFERENCE):

XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia és Szakkiállítás Külföldi Részvevőkkel

Dr. Tóth Tamás

E-mail: ttothdr@citromail.hu

Telefon: +36 70 2377776



Felelős kiadó: Dr. Tóth Tamás, a konferencia elnöke

ISBN 978-615-5270-51-2

TARTALOM

CONTENTS

Program	7
A résztvevők egy csoportja a hajókirándulás előtt A group of participants before the boat trip	17
Dr. Andreas Szabó	19
A termikus CVD és a fizikai PVD keményréteg bevonatolások összehasonlítása Comparing of thermic CVD and physical PVD coatings	19
Marcos Garcia Jimenez, Dr. Boros László	26
Nagynyomású öntőszerszámok és süllyesztékek hőkezelése új típusú közepes és nagyméretű vákuumkemencében Heat treatment of high pressure casting tools and dies in a new type medium and large vacuum furnace	26
Dr. Dobránszky János	32
A hőkezelés szaknyelvének állapota Status of the heat treatment professional language	32
Tapasztó Péter	40
Az ISVH üzemében működő ANTAL többcélú kemencében alkalmazott technológiák sajátosságai, újszerű megoldásai Peculiarities and novel solutions of the technologies used in the ANTAL multi-purpose furnace at the ISVH plant	40
Antal Péter, Barabás Zsolt, Petik Viktor	47
IPAR 4.0 a hőkezelésben Industry 4.0 in the heat treatment	47
Juhász Gyula	53
Nemesítési mikroszerkezet hatása a nitridált munkadarab minőségére (esettanulmány) Effect of tempered steel microstructure on the quality of nitrided workpiece (case study)	53
Dr. Weltsch Zoltán, Pesti István, Végh Tamás	62
Vibrációs feszültségmentesítés a T.E.T.T. Mérnökiroda Kft-nél Vibration stress elimination at T.E.T.T. Mérnökiroda Kft.	62
id. Rábel György, ifj. Rábel György	70
PLATIT AG testreszabott bevonatolási rendszerei Customized coating systems of PLATIT AG	70

Fazekas Péter	82
Esztétikai célú PVD bevonatolás PVD coating for aesthetic purposes	
Pálfi Géza	95
Technológiai újdonságok a metallográfiában Technological novelties in metallography	
Szilágyiné Dr. Biró Andrea	98
Nitridáláskor képződő vegyületi réteg mélységének új mérési módszere New method for measuring the depth of the compound layer formed during nitriding	
Tamási Attila	105
Vákuumtechnika és szervizszolgáltatások hőkezelő berendezések részére Vacuum technique and servicing for heat treatment equipments	
Stoll Krisztián, Oliver Houghton	112
Infravörös technológia alkalmazása súllyesztékes kovácsszerszámok előmelegítésére Application of infrared technology for preheating of forging dies	
David Howard, Szabó Gábor	121
Moduláris, vezérelt atmoszférás CODERE kemencék üzemeltetési tapasztalatai és előnyei bérhőkezelő cégek részére Operating experiences and benefits of modular, controlled atmosphere CODERE furnaces for heat treatment companies	
David Howard, Szabó Gábor	135
Sóhűtés moduláris hőkezelő sorokon Salt cooling on modular heat treatment lines	
Sebastian Kozdron, Pezenhoffer Balázs	155
Polimerek az edzési folyamatban Polymers in quenching process	
Daniel Allmendinger, Farkas Árpád	166
Az IPAR 4.0 az indukciós edzési folyamatban Industry 4.0 in the induction quenching process	
Fehér Jánosné Dr., Dr. Bereczki Péter, Nagy Csaba	179
Nagy tömegű alumínium tekercs hőkezelésének optimalizálása számítógépes szimulációval Optimizing the annealing parameters of bulk aluminium coils using computer aided simulation	
Kovács Dorina, Dr. Dobránszky János	180
Az aktív ernyő geometriai jellemzőinek hatása a plazmanitridált rétegre Effect of the geometric characteristics of the active screen on the plasma nitrided layer	

Kemény Alexandra, Kovács Dorina, Károly Dóra	186
A plazmanitridálás hatásai a Ti-6Al-4V ELI orvosbiológiai anyagra Effects of plasma nitriding on Ti-6Al-4V ELI biomedical material	
Dr. Mende Tamás	191
Duális képzés a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán Dual training at the Faculty of Materials Science and Engineering of the University of Miskolc	
Ferenci Norbert, Németh Attila	198
Maradék ausztenit mennyiségének csökkentése kriogén eljárással Reduction of residual austenite by cryogenic process	
Dr. Tóth László, Dr. Fábíán Enikő Réka, Pártl Ferenc	212
Az 1.2379 EN-számjelű szerszámacél szövetszerkezeti átalakulásai különböző hőkezelési technológiák hatására Microstructural transformations of EN 1.2379 tool steel due to different heat treatment technologies	
Dr. Veres Zsolt, Stefán Mária Viktória	218
Alacsony foszfortartalmú Cr-Mo ötvöztetésű acélok ausztenit szemnagyságának mérése Measuring austenitic grain size of low-phosphorus Cr-Mo alloy steels	
Sályi Zsolt, Dr. Kuzsella László, Dr. Benke Márton	225
Különböző összetételű acél alapanyagok szilárd közegű boridálása szelektív forrasztószerszámok élettartam növelésére Solid medium boridation of various steel materials for increasing the service life of selective soldering tools	
Kárpáti Viktor, Dr. Mertinger Valéria, Dr. Mikó Tamás, Dr. Benke Márton, Dr. Barkóczy Péter, Angel Dávid Ádám , Dr. Gácsi Zoltán	232
Alumínium ötvözetek homogenizálásának vizsgálata zömítővizsgálatokkal Investigation of homogenization of aluminum alloys by compression testing	
Schweitzer Bence, Dr. Nagy Erzsébet, Hlavács Adrienn, Farkas Zoltán, Dr. Barkóczy Péter ...	240
Lágyító hőkezelés során végbemenő fémtani folyamatok vizsgálata fizikai szimulációval alumínium ötvözetekben Investigating the metallography processes of annealing heat treatment by physical simulation in aluminum alloys	
Török Antal	254
Alumínium öntvények hőkezelése a HŐKER Kft. üzemében Heat treatment of aluminum castings at HŐKER Kft.	
Dr. Benke Márton, Hlavács Adrienn, Piller Imre, Dr. Mertinger Valéria	257
Lemezek fülesedésének becslése pólusábrák alapján Estimation of ear formation of sheets based on pole figures	

Dr. Fábián Enikő Réka	261
Szerkezeti acélok lézersugaras felületkezelésének hatása a szövetszerkezetre Effect of laser surface treatment on microstructure of structural steels	
Rozsnyai Attila	270
A lézer hőkezelés alkalmazási lehetőségei autóiipari szerszámok esetén Applications of laser heat treatment for automotive tools	
Fried Zoltán, Dr. Felde Imre, Szénási Sándor	274
Komplex hőátadási együttható rekonstrukciója az FWA algoritmus alkalmazásával Reconstruction of complex heat transfer coefficient using the FWA algorithm	
Bubonyi Tamás, Dr. Barkóczy Péter, Gyöngyösi Szilvia	280
Sejtautomata szimuláció alkalmazása kalorimetriás mérések kinetikai kiértékelésében Application of cellular automata simulation in kinetic evaluation of calorimetric measurements	
Sepsi Máté, Cseh Dávid, Dr. Mertinger Valéria, Dr. Benke Márton	285
Innovatív roncsolásmentes maradó feszültségmérés és anizotrópia vizsgálat robot alapú röntgendiffraktométerrel Innovative non-destructive residual stress measurement and anisotropy test with robot-based X-ray diffractometer	
Dr. Koncsik Zsuzsanna, Orosz Tamás, Dr. Gáspár Marcell, Dr. Kuzsella László	293
Acélrúd indukciós edzésének kockázati tényezői Risk factors of induction hardening process of a steel bar	
Arjun Kumar Talgotra, Dr. Nagy Erzsébet, Sepsi Máté, Dr. Mertinger Valéria	299
Alakváltozás indukált martenzites átalakulás FeMnCr TWIP acélban Deformation induced martensitic transformation in FeMnCr TWIP steel	
Cégek és egyetemek jegyzéke	309
List of companies and universities	
A konferencia résztvevői	311
List of participants	

PROGRAM

Szerda - október 3. PLENÁRIS ELŐADÁSOK

8.00 **Vendégek érkezése, regisztráció**

10.45 **ÜNNEPÉLYES MEGNYITÓ**

A XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferenciát megnyitja

Dr. Tóth Tamás
főiskolai tanár
a konferencia elnöke

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Tóth Tamás
főiskolai tanár

11.00 Dr. Gácsi Zoltán, Pethő Dániel, Angel Dávid, Dr. Mikó Tamás
Miskolci Egyetem

Fémmátrixú kompozitok előállítása és vizsgálata

11.25 Dr. Dobránszky János
MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

A hőkezelés szaknyelvének állapota

11.50 Marcos Garcia Jimenez¹, Dr. Boros László²

¹ *IPSEN International GmbH, Németország*

² *IPSEN képviselet, EUROTHERM 2000 Kft.*

**Nagyméretű présszerszámok hőkezelése IPSEN
vákuumkemencében**

12.15 **Hozzászólások**

12.30 **Ebéd** (Hotel Blaha Lujza)

Elnök: Dr. Gácsi Zoltán
egyetemi tanár
Miskolci Egyetem

- 14.00 Dr. Andreas Szabó
Best Surface Consulting, Németország
A termikus CVD és a fizikai PVD keményréteg bevonatolások összehasonlítása
- 14.20 Antal Péter¹, Tapasztó Péter²
¹ *Antal Kft.*
² *ISVH Kft.*
Cementálási technológia újítása többcélú kamrás kemencében, gyakorlati hasonlatokkal
- 14.40 Antal Péter¹, Barabás Zsolt², Petik Viktor²
¹ *Antal Kft.*
² *Siemens Zrt.*
Az „IPAR 4.0” szempontjai, gyakorlati kialakítása - alkalmazása
- 15.00 Juhász Gyula
TS Magyarország Kft.
**Nemesítési mikroszerkezet nem megfelelőségének hatása a nitridált munkadarab minőségére (esettanulmány)
Egy ókori városrom látogatása, avagy mit tudtak a régi mesterek**
- 15.20 Dr. Weltsch Zoltán¹, Pesti István², Végh Tamás³
¹ *Neumann János Egyetem*
² *P-INVENT Kft.*
³ *T.E.T.T. Mérnökiroda Kft.*
Vibrációs feszültségmentesítés a T.E.T.T. Mérnökiroda Kft-nél
- 15.40 **Hozzászólások**
- 15.55 **Kávészünet**

Szerda - október 3.

Elnök: Dr. Dobránszky János
tudományos tanácsadó
MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

16.25 id. Rábel György, ifj. Rábel György
PannonPLATIT Kft.

PLATIT AG testre szabott bevonatolási rendszerei

16.45 Fazekas Péter
TS Magyarország Kft.

Esztétikai célú PVD bevonatolás

17.05 Pálfi Géza
IGS-Kontakt Kft.

Technológiai újdonságok a metallográfiában

17.25 Szilágyiné Dr. Biró Andrea
Miskolci Egyetem

Nitridáláskor képződő vegyületi réteg mélységének új mérési módszere

17.45 Tamási Attila
B&T Service Kft.

Vákuumtechnika és szervizszolgáltatások hőkezelő berendezések részére

18.05 Stoll Krisztián¹, Oliver Houghton²
¹ *Firth Rixson Hungária Kft. - Arconic AEN*
² *Arconic - Engineered Product Solutions, Texas, USA*

Infravörös technológia alkalmazása süllyesztékes kovácsszerszámok előmelegítésére

18.25 **Hozzászólások**

19.30 **Üdvözlő vacsora** (Hotel Blaha Lujza)

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Benke Márton
egyetemi docens
Miskolci Egyetem

- 9.00 David Howard¹, Szabó Gábor²
¹ *Codere SA, Svájc*
² *Galika Szerszámgépek Kft.*
Codere hőkezelő berendezések
- 9.20 David Howard¹, Szabó Gábor²
¹ *Codere SA, Svájc*
² *Galika Szerszámgépek Kft.*
Sóhűtés Codere kemencében
- 9.40 Sebastian Kozdron¹, Pezenhoffer Balázs²
¹ *Houghton, Lengyelország*
² *Houghton Magyarország Kft.*
Polimer hűtőközegek a hőkezelési folyamatokban (elméleti ismeretek)
- 10.00 Sebastian Kozdron¹, Pezenhoffer Balázs²
¹ *Houghton, Lengyelország*
² *Houghton Magyarország Kft.*
Hűtési karakterisztika felvétele „Smart Quench” berendezéssel (bemutató a helyszínen)
- 10.20 Daniel Allmendinger, Farkas Árpád
Inductoheat Europe GmbH, Németország
Az „Ipar 4.0” az indukciós edzési folyamatban
- 10.40 **Hozzászólások**
- 10.55 **Kávészünet**

Elnök: Dr. Kuzsella László
egyetemi docens
Miskolci Egyetem

11.25 Fehér Jánosné Dr., Dr. Bereczki Péter, Nagy Csaba
Arconic-Köfém Kft.

Nagy tömegű alumínium tekercs hőkezelésének optimalizálása számítógépes szimulációval, I. rész

11.45 Fehér Jánosné Dr., Dr. Bereczki Péter, Nagy Csaba
Arconic-Köfém Kft.

Nagy tömegű alumínium tekercs hőkezelésének optimalizálása számítógépes szimulációval, II. rész

12.05 Kovács Dorina¹, Dr. Dobránszky János²
¹ *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*

² *MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport*

Különböző geometriájú aktív ernyők hatása a plazmanitridált rétegre

12.25 Dr. Mende Tamás
Miskolci Egyetem

A duális anyagmérnök képzés tapasztalatai

12.45 **Hozzászólások**

13.00 **Kötetlen beszélgetés Dr. Mende Tamás egyetemi docenssel, a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának dékánhelyettesével, a duális anyagmérnök képzésről**

13.15 **Ebéd** (Hotel Blaha Lujza)

Elnök: Dr. Fábíán Enikő Réka
egyetemi docens
Óbudai Egyetem

14.30 Ferenci Norbert¹, Németh Attila²

¹ Messer Hungarogáz Kft.

² Hauni Hungária Gépgyártó Kft.

Maradék ausztenit mennyiségének csökkentése kriogén eljárással

14.50 Dr. Tóth László¹, Dr. Fábíán Enikő Réka¹, Pártl Ferenc²

¹ Óbudai Egyetem

² Magyarmet Finomöntöde Kft.

Az 1.2379 EN-számjelű hidegalakító szerszámacél szövetszerkezeti átalakulásai különböző hőkezelési technológiák hatására

15.10 Dr. Veres Zsolt, Stefán Mária Viktória

Miskolci Egyetem

Alacsony foszfortartalmú Cr-Mo ötvöztetésű acélok ausztenit szemcsenagyságának mérése

15.30 Gyökér Zoltán, Dr. Gergely Gréta, Konc-Horváth Dániel, Dr. Gácsi Zoltán

Miskolci Egyetem

Forrasztóanyag kompozitok fejlesztése

15.50 Sályi Zsolt, Dr. Benke Márton

Miskolci Egyetem

Vékonyréteg bevonatok fejlesztése innovatív forrasztási technológiákhoz

16.10 **Hozzászólások**

17.00 **Találkozás a Hotel Blaha Lujza előtt, séta a hajóállomásra**

17.30 **A Kisfaludy Múzeumhajóval 1 órás sétahajózás, közben a hajómúzeum megtekintése**

19.30 **Vacsora** (Hotel Blaha Lujza)

PLENÁRIS ELŐADÁSOK

Elnök: Dr. Csurbakova Tatjana
címzetes főiskolai tanár

- 9.00 Kárpáti Viktor, Dr. Mertinger Valéria, Dr. Mikó Tamás,
Dr. Benke Márton
Miskolci Egyetem
**Alumínium ötvözetek homogenizálásának vizsgálata
zömítővizsgálatokkal**
- 9.20 Schweitzer Bence, Farkas Zoltán, Hlavács Adrien,
Dr. Nagy Erzsébet, Dr. Barkóczy Péter
Miskolci Egyetem
**Lágyító hőkezelés során végbemenő fémtani folyamatok vizsgálata
fizikai szimulációval alumínium ötvözetekben**
- 9.40 Török Antal
Hőker Kft.
Alumínium öntvények hőkezelése és hőkezelésének kemencéi
- 10.00 Dr. Mertinger Valéria, Arjun Talgotra, Dr. Nagy Erzsébet
Miskolci Egyetem
TWIP acélok termomechanikus kezelése
- 10.20 Dr. Benke Márton, Hlavács Adrienn, Piller Imre,
Dr. Mertinger Valéria
Miskolci Egyetem
Lemezek fülesedésének becslése pólusábrák alapján
- 10.40 **Hozzászólások**
- 10.55 **Kávészünet**

Elnök: Dr. Mertinger Valéria
egyetemi tanár
Miskolci Egyetem

- 11.25 Káldy Soma, Rozsnyai Attila
Budai Benefit Kft. – BuBenLaser
Lézeres felületi hőkezelés
- 11.45 Dr. Fábián Enikő Réka
Óbudai Egyetem
Szerkezeti acélok lézersugaras felületkezelésének hatása a szövetszerkezetre
- 12.05 Rozsnyai Attila
Budai Benefit Kft. – BuBenLaser
A lézeres felületi edzés alkalmazása autóipari szerszámok esetén
- 12.25 Fried Zoltán, Dr. Felde Imre, Szénási Sándor
Óbudai Egyetem
Komplex hőátadási együttható rekonstrukciója a bio-inspirált FWA algoritmus alkalmazásával
- 12.45 Bubonyi Tamás, Dr. Barkóczy Péter, Gyöngyösi Szilvia
Miskolci Egyetem
Sejtautomata szimuláció alkalmazása kalorimetriás mérések kinetikai kiértékelésében
- 13.05 Sepsi Máté, Dr. Mertinger Valéria, Dr. Benke Márton
Miskolci Egyetem
Innovatív roncsolásmentes maradó feszültségmérés és anizotrópia vizsgálat robot alapú röntgendiffraktométerrel
- 13.25 Dr. Kuzsella László, Bassel Alsalamah
Miskolci Egyetem
Nagyszilárdságú alumínium ötvözet alakítás közbeni hőkezelése
- 13.45 **Hozzászólások**
- 14.00 **A KONFERENCIA MUNKÁJÁNAK ÉRTÉKELÉSE, ZÁRSZÓ**
Dr. Tóth Tamás
főiskolai tanár, a konferencia elnöke
- 14.10 **Ebéd** (Hotel Blaha Lujza)

Péntek - október 5.

POSZTER ELŐADÁS

Kemény Alexandra, Kovács Dorina, Károly Dóra

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A plazmanitridálás hatásai a Ti-6Al-4V ELI orvosi biológiai anyagra

A résztvevők egy csoportja a hajókirándulás előtt
A group of participants before the boat trip
Fényképezte (photo by): Vönöczky András



A termikus CVD és a fizikai PVD keményréteg bevonatolások összehasonlítása

Comparing of thermic CVD and physical PVD coatings

Dr. Andreas Szabó¹

Abstract:

With regard to the rather widespread perception, that these two coating technologies are close, it is to be clarified, that a genuine chemical process cannot be substituted by a physical method.

The resulting products – typically Titan-Nitride (TiN) – may bear the same name, but their material compositions are incomparable. The lack of basic chemical knowledge explains the frequent errors.

The process of CVD coating takes place at a temperature of about 1000 °C.

At this temperature steel is getting soft and subsequent heat treatment of a CVD coated steel object becomes necessary. This is the origin of the connection between the CVD coating technology and the heat treatment. The thereby applied high temperature is providing the thermal activation energy, which, on the other hand, will be causing diffusion and alloy building processes.

The result is a gradual three-dimensional transient zone between the steel carrier and the quasi ceramic layer. – In case of hard metals (WC) or other materials not softening at high temperature a subsequent heat treatment is not necessary.

Physical coating can be performed below 500 °C (this is the temperature, where better steels may soften), therefore heat treatment is not needed. The consequence of this technical compromise is that the material composition of PVD layers is never stoichiometric, mostly amorphous or of metallic character. – The bonding area between the the coated carrier and the physically condensed coating layer is characterized by two-dimensional adhesion.

The main characteristics of the resulting coatings is that their hardness, the thickness of the layer as well as their physical-chemical-mechanical properties are significantly different.

The final conclusion of the above comparison is, that CVD coatings are genuine hard ceramic kind coatings, proving their truly special character in course of industrial practice.

The actually hard performing CVD ceramic layers enable the incomparably higher efficiency of CVD coated tools and machine parts, assuring at least five to ten times longer life time even under extreme load, than hardened, nitrided or PVD coated steel alternatives.

Functional CVD coating cannot be substituted by PVD coating.

Only few researchers have investigated the chemical mechanism of CVD coating processes.

Operating CVD equipment have been used in the industrial practice to routine service.

¹ Best Surface Consulting, Németország

Tekintettel arra az elterjedt téves felfogásra, hogy ez a két bevonatolási technológia: a CVD ill. PVD közel állnak egymáshoz, alapjaiban tisztázandó, hogy egy valódi kémiai jellegű folyamat nem helyettesíthető egy más jellegű fizikai módszerrel.

Applications of thin layers:

- PVD = decorative coatings
 - later = metal cutting, stamping and drilling tools,
 - Working at moderate load, no change of working steel materials state,
 - Layer thickness <5 μm – because of limiting stress between carrier steel body and layer –
 - 2 dimensional interface, condensed layer – nonstoichiometric – originally started as decorative coating
- CVD = cold working metal forming tools,
 - under high load, additional heat treatment is obligatory
 - Layer thickness over >10 μm –
 - 3 dimensional, gradually alloyed, intermediate bonding layer – stoichiometric
- PA-CVD = low friction, inert material,
 - (plasma assisted cvd) mainly amorphous DLC-like layers / materials
 - Function against adhesion, corrosion,
 - Limited, few specific applications,

BEST SURFACE

Az eredő termék mint pl. tipikus aTitánitrid (TiN) neve lehet ugyan azonos, de a jellemző anyagi összetételeiket illetően már nem összehasonlíthatók. A **kémia alpismereteinek és az ennek megfelelő kritika hiánya** sok tévedés magyarázata.

Történelmi áttekintés:

History of the thermal HT-CVD Technology for Hardcoating

- 1950- years:
 - Discovery at Metallgesellschaft Frankfurt (by accident), first Patents,
- 1960- years:
 - First licences:
 - Schmolz und Bickenbach, - Dörrenberg Edelstahl, - Sandvik, - Seco Tools, etc.
 - First furnaces:
 - Berna-Bernex AG /CH – Plansee / Austria – Ti-Coating /USA,
 - At present: Ionbond – Oerlikon Balzers – Voest Alpine – and chinese interests
- 1970-80- years:
 - „Spin off“ companies: Eifeler, - Surmetal, - VST, - a.m. (div. stories)
- Since the 1980- years:
 - Insignificant modifications, mainly customary applications, competition,
 - Stagnation in development of technology, change of generation people,
 - Coating services as well as equipments are very conservative,
 - Supply of CVD by coming up PVD technique has been approved – without real success,
 - Highest wear resistance is available with HT-CVD only,
 - Variable CVD materials offer high potential in several applications,
- Since 2000 until today:
 - Several hostile takeovers – change of names – bankruptcies – jealous competition (as lovely as capitalism is...)
- Prospect & Future:
 - high hidden potentials are still in CVD – however R&D necessary
 - New materials, novel applications,

BEST SURFACE

A termikus CVD bevonatolás folyamata **közel 1000°C hőmérsékleten** zajlik. Ennek következtében minden acél meglágyul. Amennyiben acélról van szó egy bevonatolt acéltárgy utólagos edzése ill. hőkezelése célszerűen kötelező.

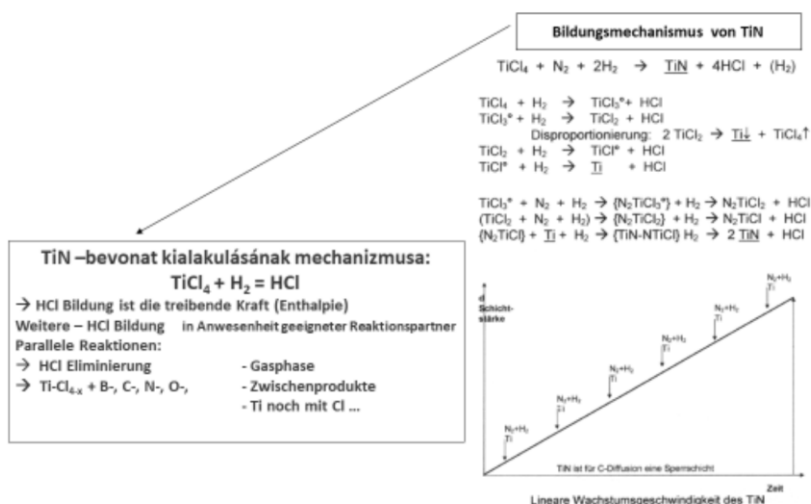
Innen ered a CVD bevonatolás technológiája és a hőkezelés közötti összefüggés.

A bevonatolás kémiája a TiCl₄ redukcióján alapul. A folyamat 4 ill. több lépcsőben és párhuzamos folyamatokban játszódik le, ahol a TiCl₄ redukciója folyamán 4 mol HCl képződik. A reakció entalpiamérlegét mint hajtóerőt a HCl képződése határozza meg.

A bruttó kémiai reakciók:

- Titán forrása a gázfázisban: TiCl_4 gőzállapot HT-CVD
- $\text{TiCl}_4 + \text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow \text{TiN} + \text{HCl}$ stöchiometrikus
- $\text{TiCl}_4 + \text{H}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow \text{TiC} + \text{HCl}$ (B – C – N – O ...)
- $\text{TiCl}_4 + \text{H}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow \text{TiCN} + \text{HCl}$
- Többfokozatú elemi reakciók sorozata. A HCl eliminációja párhuzamosan zajlik az egyes közbülső addíciós reakciókkal
- $\text{TiCl}_4 - \text{HCl} \rightarrow \text{TiCl}_3$ Intermediális reakciós partnerek
- $\text{TiCl}_3 - \text{HCl} \rightarrow \text{TiCl}_2$ mint B – C – N – O – stb kerámiaképző elemek.
- $\text{TiCl}_2 - \text{HCl} \rightarrow \text{TiCl}$ ez is csak a valós folyamatok távoli megközelítése
- $\text{TiCl} - \text{HCl} \rightarrow \text{Ti}^0$

Domináns entalpia: $\text{HCl}(\text{g}) = \Delta H_0 = 92.31 / \Delta G_0 = 95.26$ beide Werte [kJ/mol]



Az alkalmazott relatív magas hőmérséklet funkciója a termikus aktiválási energia (E_A) biztosítása a folyamat valamennyi részreakciójában, ahol diffúziós ill. ötvöződési folyamatok is fellépnek. Ötvöződés a Ti és más fémes elemek között lép fel.

A valóságban zajló kémiai reakciók bonyolultabbak, mivel a nem fémes elemek beépülése is egy lényeges, párhuzamos folyamat (B; C; N; O...).

Sokoldalú rétegek és variációk lehetségesek

Egyes lehetséges réteganyagok áttekintése

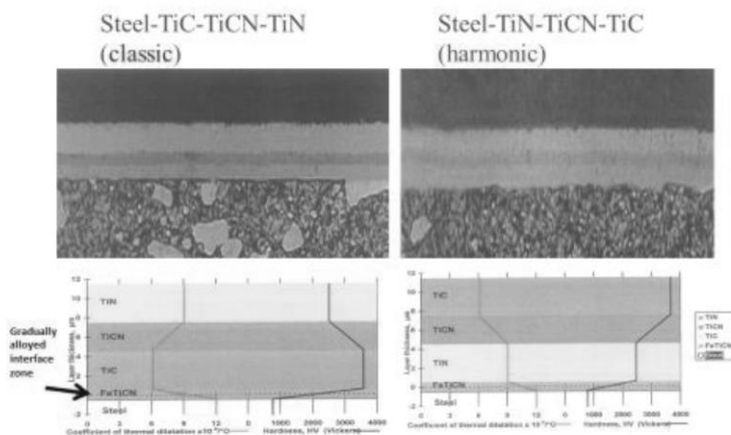
	Ti	Zr	Hf	V	Nb	Ta	Cr	Mo	W	Al	Si
B	TiB TiB ₂	ZrB ZrB _x	HfB HfB _x	VB	NbB	TaB	CrB	MoB	WB	AlB	SiB
C	TiC	ZrC	HfC	VC	NbC	TaC	Cr ₂ C	MoC	WC	(AlC)	SiC
N	TiN	ZrN	HfN	VN	NbN	TaN	CrN	MoN	WN	AlN	SiN
O	TiO _x	ZrO ₂	HfO ₂	VO ₂	NbO ₂	TaO ₂	CrO ₂	MoO ₂	WO ₂	AlO _x	SiO ₂
Si	TiSi	ZrSi	HfSi	VSi	NbSi	TaSi	CrSi	MoSi	WSi	AlSi	

Tekintet nélkül a sztöchiometrikus viszonyokra.

A relatív magas hőmérséklet következményeként a hordozó (bevonatolandó acél), és a kerámia jellegű réteg között még a redukció folyamata alatt egy **graduális, háromdimenziós átmeneti zóna** alakul ki.

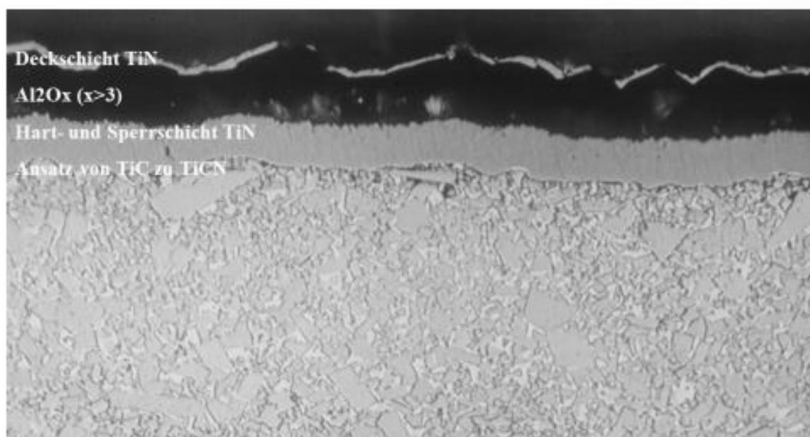
Commonly applied CVD hardlayer systems

relations of thermal dilatation coefficients vs. hardness

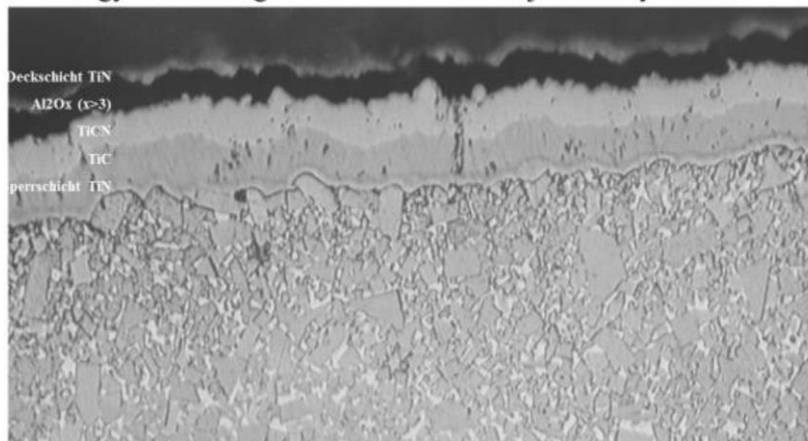


Keményfém (WC – Widia) vagy más, hőre nem lágyuló anyag CVD bevonatolása estén 1000°C körül a szénelszegényesedés (η – eta fázis) megakadályozására egy diffúziógátló záróréteg (pl. TiN) szükséges. Egy utólagos hőkezelés itt nem szükséges.

Egy CVD rétegekombináció strukturája keményfém



Egy CVD rétegekombináció strukturája keményfém

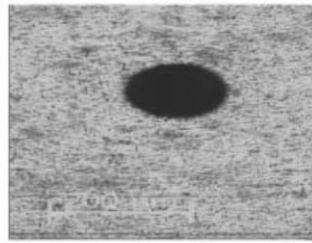


Keményréteg variációk a keményfém bevonatolásán

Belső felületek:

A termikus CVD bevonatolási technológia egyik különlegessége, hogy belső, árnyékolt felületeket is képes egyenletesen bevonatolni. Sem a PVD, sem a galvanikus bevonatolások nem képesek erre.

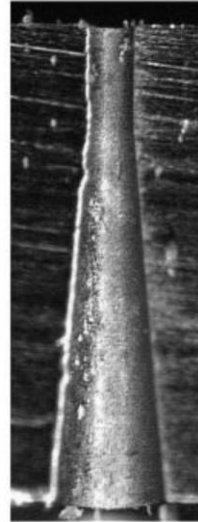
Inside coating
Innenbeschichtung dünner Bohrungen



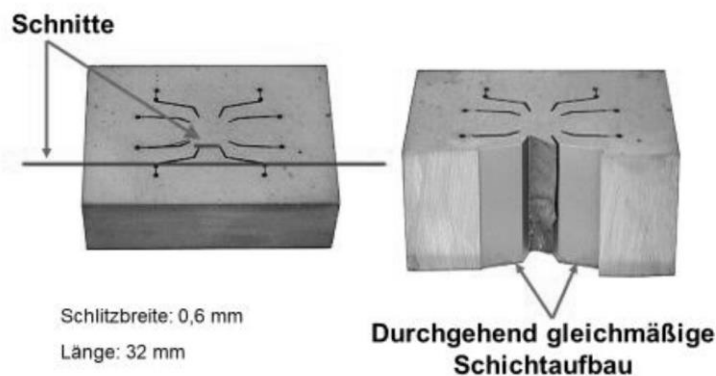
Durchmesser: 0,13 mm

Tiefe: 1,3 mm

$\varnothing / L = 1 : 10$



Innenbeschichtung enger Schlitzze Inside coating possible by CVD only



A fizikai PVD bevonatolás kb. 500°C – azaz a jobb acélok megeresztési hőmérséklete – alatt is végezhető, ezért egy utólagos hőkezelés itt alapvetően nem szükséges.

Ezen technikai kompromisszum eredménye, hogy a PVD rétegek anyagi összetétele **sohasem sztöchiometrikus**, hanem egy kondenzált réteg, jobbra amorf ill. fémes jellegű. A réteg anyagának forrása egy (esetenként több) fém (Ti, vagy más).

Jelentősebb kémiai jellegű változás itt nem lép fel. A kémiai változás egy PVD folyamatban a felületen, a plazmában azaz egy gázfázisú elektromos kisülési zónában lép fel. Ennek következtében viszont egy strukturális változás lehetséges.

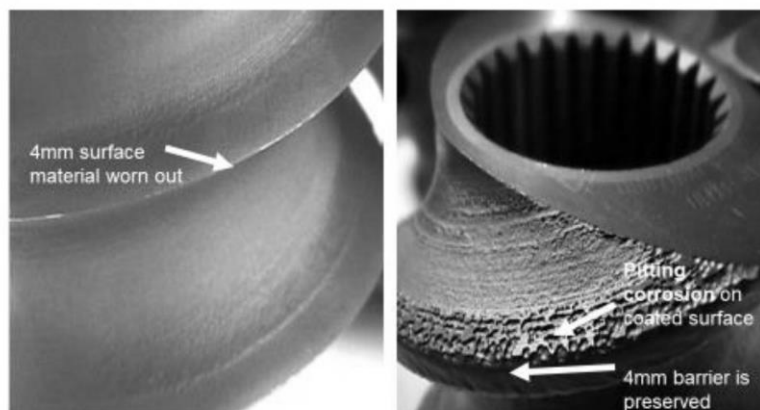
A bevont hordozó anyaga és a fizikailag rákondenzált bevonat közötti **határfelületet egy kétdimenzionális tapadás** jellemzi. A határfelületi feszültség – mint a hőkiterjedési együtthatók eredménye ($\Delta\alpha$) – ennek határt szab.

A CVD ill. PVD bevonatok fő jellemzője, hogy, a leválasztható réteg **vastagsága, keménysége és a fizikai-kémiai-mechanikai tulajdonságaik** jelentősen eltérnek egymástól.

Az összehasonlítás **végző konklúziója**, hogy a CVD bevonatok **stöchiometrikus összetételű, kemény, valódi, kerámia jellegű rétegek**, melyek a gyakorlatban az ipari alkalmazás során mutatják meg valódi előnyös tulajdonságaikat. – Többek között a surlódás következtében fellépő kopás gátlását. Ez általánosan is vonatkozik az erősen, mechanikusan koptatott, surlódó felületek védelmére is.

Extruder screw segment – granulator

after 6 months continuous operation (with 45% GF in ABS)
without coating with HT-CVD-coating



A valóban nagy teljesítményű CVD kerámia rétegek teszik lehetővé a CVD-technológiával bevonatolt szerszámok és gépalkatrészek szinte összehasonlíthatatlanul előnyösebb hatásfokát, amely extrém megterhelés esetén is a gyakorlatban minimum 5x inkább 10x vagy még magasabb élettartamot biztosítanak, mint az edzett acél, nitridált, avagy PVD bevonatolt alternatívák.

Gazdasági vonatkozások – 1.

• Edzett acél	Bulk material / élettartam – performance
• Nitridált / cementált acél	mérsékelt növekedés
• B – C – N – O – (F) + ötvöző elemek	differenciált növekedés
• Bevonatolások	Felület / bevonat keménysége
• Galvanikus bevonatok	azonos a bevonat tulajdonságaival
• PVD – gőzfázisú bevonatok ~500°C alatt	nem sztöchiometrikus - amorf
• Quasi kondenzált réteg – adheziós, kétdimenziós határréteg -	
• CVD – gázfázisban – 1000°C alatt	stöchiometrikus – kerámia jellegű
• Kémiai kölcsönhatásból kialakult diffúziós, ötvözött, háromdimenziós átmeneti réteg = átmeneti zóna	

Mindez az ipari gyakorlatban és rendkívüli nagy megterhelés estében mutatkozik meg.

A funkcionális termikus CVD bevonat egy fizikai PVD bevonattal nem helyettesíthető.

A termikus CVD bevonatolás kémiai mechanizmusával kevesen, szinte alig néhányan foglalkoztak. Ez nem egy vegyész szakterülete ez inkább anyagtudomány.

A CVD bevonatoló berendezések üzemeltetése a gyakorlati ipari alkalmazásra ill. a rutin jellegű, profitábilis bevonatolásra korlátozódott.

Applications of thermal CVD layers

- Cemented carbide turning plates (classic application)
- Different forming tools – steel
- Deep drawing tools – steel
- Large forming tools and blanks (segmented)
- Pressing matrices
- High load machine components
- Protection against wear, corrosion, adhesion, galling,

Tapasztalati értékek az ipari praxisból – egy összehasonlítás

• Mélyhúzó, lemezalakító szerszámok:

	Faktor / élettartam / darabszám:	Kommentár:
• Edzett acél:	1 / 100.-200.000	ápolás, EP olaj szükséges (extreme pressure)
• Nitridált acél:	1,3 / 150.-250.000	dto. / csak felületi gradiens réteg
• PVD bevonás:	2-3 / 200.-300.000	igénybevétel ill. terhelés függvénye
• CVD bevonás:	5-10 / 1.000.000 felett	→Csökkentett kenőanyag mennyiség →Gyorsított ciklusidő →Galling / Fressen / hideg felhegesztődés kizárva

• Gépelemek:

- Kopásnak kitett alkatrészek a fenti relációk érvényesek széles alkalmazási terület

A gyakorlatban ez jobbára vállalkozók, managerek, kezdő munkavállalók, piaci eladók, vigécek feladata volt. – Akadt köztük kertész, autószerelő, mozdonyvezető, stb. – legjobb esetben gépészmérnök, vegyésztechnikus vagy laboráns.

Tehát eladni, eladni, eladni és hinni benne, azaz mással elhíttetni, hogy a PVD is jó, esetleg szebb mert dekoratív de olcsóbb.

Itt lép fel a PVD technológia mint a tudatlanságból azaz alapos ismeretek hiányából származó konkurens alternatíva. A bevásárló ill. alkalmazó sajnos az árat nézi, de nem ismeri sem az anyagokat, sem a folyamatok hátterét.

Ebben is megmutatkozik a hiszékenység, a hit és a tudás közötti különbség.

A valódi felismeréseket eredményesen elhallgatták, az alkalmazott munkás, a „jobboló“, aki szükségszerűen nem érti a folyamatot részleteiben, azért nem felelős, tehát nem is érdekelt. – Csak a konkurencia meg ne tudja.

Akit be lehet csapni, azt be is kell csapni! Ez egy fiskális piactörvény! (mohó sapiens.)

Magyarország és Kelet-Európa jelenleg az Európai Unió piaci érdekeltsége ill. az olcsó, kvalifikált munkaerő egyik forrása.

A CVD vs. PVD valóságai részleteikben, valamint a tapasztalati értékek, felismerések, az ipari gyakorlat és a funkcionális felületi bevonó rétegek döntő tulajdonságai határozzák meg, hogy mire használhatók.

Ezen a két CVD és PVD alkalmazott felületvédelmi technológián kívül több, igencsak teljesítőképes vékony- ill. vastagréteg bevonatoló módszer is létezik.

Esetenként egy adott probléma megoldása és a vele szemben támasztott igények ill. a lehetőségek eleve meghatározzák, hogy adott körülmények között milyen bevonatolás, milyen anyagi tulajdonságokkal és milyen módszerekkel alkalmazhatók.

Egy adott probléma, valamint az alternatív megoldások előzetes, kritikus analízise, szükségszerűen ajánlott.

Nagynyomású öntőszerszámok és süllyesztékek hőkezelése új típusú közepes és nagyméretű vákuumkemencében

Heat treatment of high pressure casting tools and dies in a new type medium and large vacuum furnace

Marcos Garcia Jimenez¹, Dr. Boros László²

Összefoglalás

Az öntőszerszámok és süllyesztékek vákuumos hőkezelésének legfontosabb célja a munkadarab szilárdsági és élettartam-tulajdonságainak optimalizálása, és egyúttal a munkadarab hőkezelési vetemedésének minimalizálása.

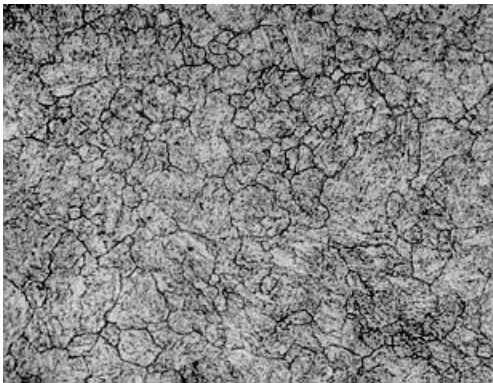
Az optimalizált hűtési feltételek miatt elkerülhető a karbidkiválás a szemcsehatáron, ami egyébként csökkenti a szerszám élettartamát.

Ez az előadás a nagynyomású öntőszerszámok és süllyesztékek hőkezelését írja le az újonnan kifejlesztett Super Turbo™ és Turbo²Treater M IPSEN vákuumkemencékben a DC-9999-1 GM POWERTRAIN előírásnak megfelelően.

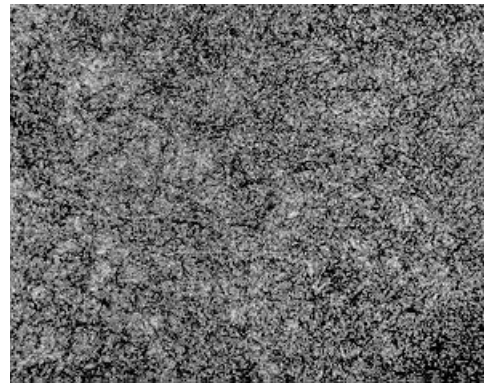
Keywords: vacuum heat treatment, high pressure gas quenching, low distortion, GM Powertrain Specification, Diecasting die, Forging die

1. Bevezetés

A vákuumkemencékben a nagynyomású gázedzés használatának terjedésével a süllyesztékek és nagynyomású öntőszerszámok hőkezelésének minősége az elmúlt tíz évben jelentősen javult. Az igények középpontjában a szilárdsági tulajdonságok optimalizálása mellett a vetemedés minimalizálása áll. A torzulás minimalizálása különösen a nagyméretű szerszámoknál jelent hatalmas költségmegtakarítást. A vetemedés minimalizálása a gázedzés sebességének csökkentésével érhető el. A lassított edzés viszont növeli a szemcsehatárokon a karbidkiválás lehetőségét, amely a szerszám szilárdságára és élettartamára csökkenését eredményezheti. (1,2 ábra)



1. ábra: Nem megfelelő szövetszerkezet
Lassú gázedzés



2. ábra: Megfelelő szövetszerkezet
Gyors gázedzés

A vákuumkemencék felé támasztott követelményeket és a kemencék megkívánt tulajdonságait elsősorban a GM POWERTRAIN DC-9999-1 előírás szabja meg.

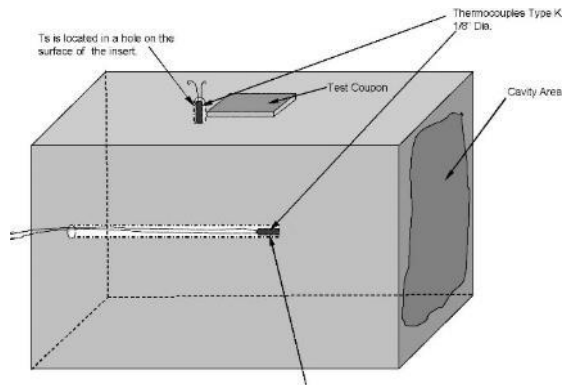
A DC-9999-1 az az általános és részletes leírás, amely minden H-13 és egyéb melegszilárd szerszámacél minőségét és hőkezelését szabályozza a GM szerszámelőírásainak megfelelően. [2]

¹ IPSEN International GmbH

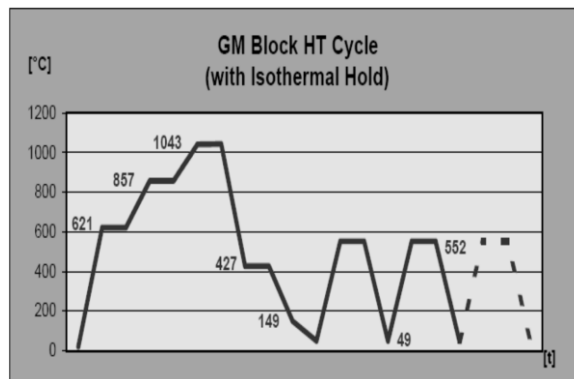
² IPSEN képviselő, EUROTHERM 2000 Kft.

Az anyagokkal szemben támasztott követelmények mellett leírja a próbatesteket és a hőkezelés paramétereit, illetve beszállító hőkezelő és vizsgáló laboratóriumok felé támasztott követelményeket. Csak a GM POWERTRAIN által vizsgált és megfelelően minősített anyagbeszállító, hőkezelő cégeket és vizsgáló laboratóriumokat fogad el a GM.

2. A próbatest és a hőkezelés leírása [2]



3. ábra: Próbatest (GMPT DC 9999-1)



4. ábra: Hőkezelés ciklus (GMPT DC 9999-1) hőntartással (megegersztés)

A próbatest (3. ábra) egy H-13 szerszámacélból (1.2334=X 40 Cr Mo V 51) készült 16”x16”x16” méretű (kb. 400 mm élhosszúságú) kb 532 kg súlyú kocka, ellátva az ábrán látható helyen K típusú hőérzékelőkkel.

A próbatestet a következő hőkezelési ciklusnak vetették alá: (4. ábra):

- Betöltés a hideg kemencébe,
- Első hevítés 593-649 °C (1100.1200 °F) hőmérsékletre maximum 3,7°C/perc sebességgel, a magban elhelyezett hőérzékelőről szabályozva,
- Hőntartás, míg a felület és mag hőmérsékletkülönbsége eléri a 111°C (200°F) értéket,
- Második hevítés 857 ± 14°C (1575 ± 25 °F)-ra, max. 2,8°C/min (300°F/h) a magban elhelyezett hőérzékelőről szabályozva,
- Hőntartás, míg a felület és mag hőmérsékletkülönbsége az 56°C (100°F), értéket,
- Gyors hevítés az ausztenites hőmérséklet + 5,5°C (1043°C = 1910°F + 10°F) értékre
- A felületi hőmérséklet ausztenites hőmérsékletre közelítése < 2,8°C (5°F) után hőntartás 30 percig,
- Edzés 9 bar, vagy magasabb nyomással,

A hűtés sebessége 538°C (1000°F)-ig ≥ 39°C (70°F)/perc legyen, a felületi hőérzékelőn mérve

Két edzési mód lehetséges:

1. vagy edzés a magban lévő érzékelő szerint, $T_{mag} - T_{felület} < 111^{\circ}\text{C}$ (200°F) 427°C –ra a felületi érzékelő szerint, rövid hőkiegyenlítő kivárást követően hűtés egyenesen 149°C (300°F)-ra
2. vagy edzés 427°C (800 ± 15°F)-ra, majd
 - Hőntartás 427°C hőmérsékleten, míg a felületi és mag hőmérsékletkülönbsége a < 111°C (200°F) értéket el nem éri, vagy a felületi hőmérséklet 399°C (750°F)-ot eléri,
 - Edzés tovább 149°C (300°F)-ra,
 - Kemence nyitása, további hűtés szabad levegőn 49°C (120°F)-alá,
 - Azonnali megegersztés 538 – 566°C (1000 – 1050°F)-on legalább 2 óra hőntartással, majd hűtéssel szabad levegőn,

- Megeesztés újra 552 – 616°C (1025 – 1140°F) 2 óra hőntartással, szabad levegőn hűtéssel, hogy a megkívánt 44-46 HRC keménységet elérjük
- Amennyiben a kívánt keménységet elértük, újra megeesztés 538 – 566°C (1000 – 1050°F)-on, minimum 1 óra,
- Amennyiben a kívánt keménységet nem értük el, újra hőntartás a megfelelő hőmérsékleten, legalább 2 óra.

Megjegyzés: legalább három megeesztési ciklus előírás.

3. Kísérletek

A GMPT DC 9999-1 szerinti kemencének a következő feltételeknek kell megfelelnie:

Vákuumkemence legalább 10 bar nitrogén nyomással, legalább 39°C /perc hűtési sebességgel, programszabályzás, töltetre erősíthető hőérzékelők, a teljes hőkezelési folyamat digitális regisztrálása, valamint a MIL-H-6875 szabvány szerinti minősítés.

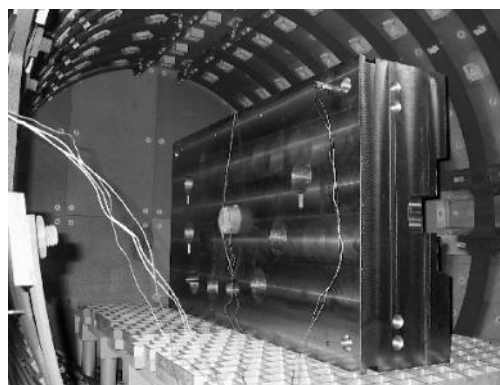
Két, ezeknek a feltételeknek megfelelő IPSEN kemencét vizsgáltunk:

A nagyméretű SuperTurbo™ (5. ábra) és a közepes méretű Turbo²Treater M (7. ábra) vákuumkemencét.

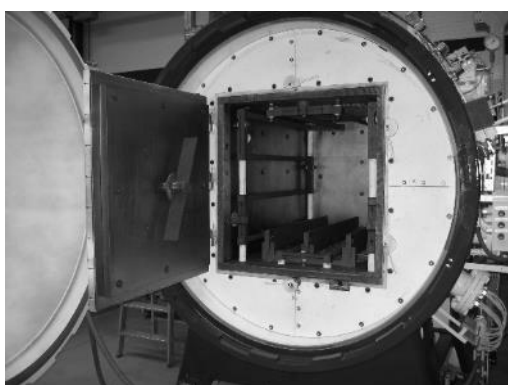
A GM próbakocka (5. ábra) mellett még egy 5,6 t súlyú nagynyomású öntőszerszámmal és két 230 kg súlyú süllyesztékkal végeztünk vizsgálatokat. A szerszámok anyaga: 1.2343.



5. ábra: GM próbatétel az Ipsen SuperTurbo™ vákuumkemencében



6. ábra: Nagynyomású öntőforma az Ipsen SuperTurbo™ vákuumkemencében



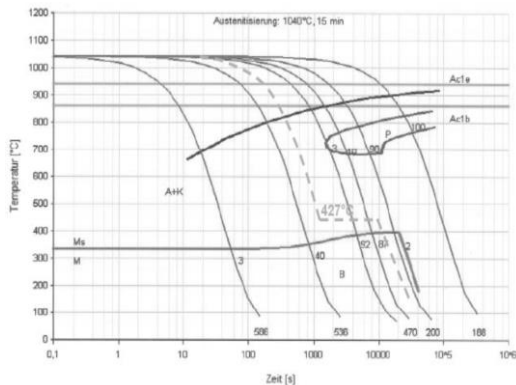
7. ábra: Ipsen Turbo²Treater M vákuumkemence



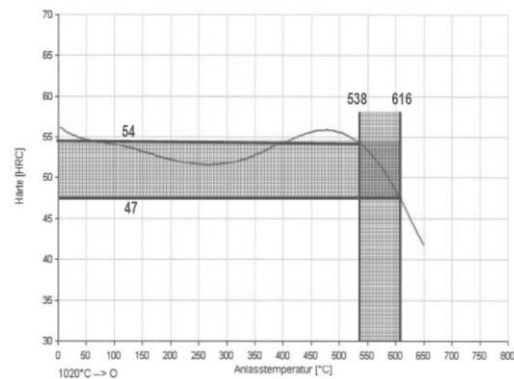
8. ábra: Süllyesztékek az Ipsen Turbo²Treater M kemencében

3.1. Követelmények

A 9. ábrán a TTT diagramban a szaggatott vonal mutatja az edzési folyamatot, mely legalább 39°C/perc sebességű, ezt követi a hőkiegyenlítő hűtártás a GMPT DC 9999-1 szerint. Az előírt 44 - 46 HRC keménységet a 10. ábra alapján meghatározott megeresztési adatok szerint kell elérni.



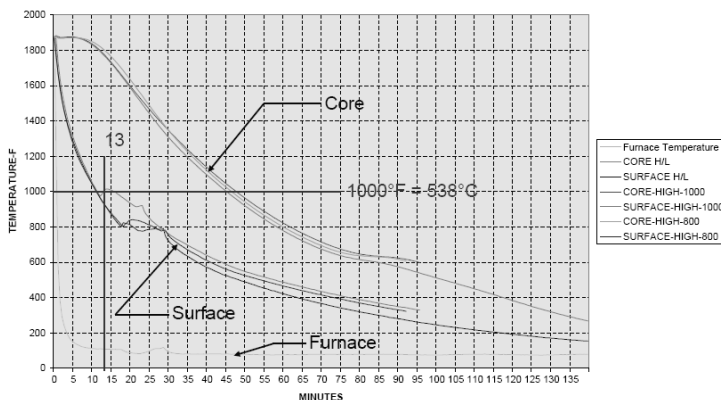
9. ábra: H 13 TTT diagram



10. ábra: H 13 megeresztési diagram

3.2. Eredmények

16" CUBE TEST-15 BAR HIGH SPEED vs HIGH/LOW SPEED



11. ábra: Edzési hőmérsékletlefutás: GM kocka

A 11. ábra a 16" GM kocka próbatesten mért edzési hőmérséklet lefutási görbéket mutatja 15 bar gáznomásnál, különböző ventilátor fordulatszámoknál.

A görbékéből látható, hogy az előírt legalább 39°C/perc hűtési sebességnek megfelel a 13 perces lehülési idő az ausztenites hőmérsékletről 538°C-ra, ahogy azt a GMPT specifikáció előírja.

	IPSEN SuperTurbo™ 77100		Turbo²Treater M	
	Diecasting die	GM 16" bloc	Forging die	GM 16" bloc

Material	1.2343	H13 (1.2344)	1.2343	H13 (1.2344)
Weight	5600 kg	532 kg	460 kg	532 kg
Austenized at	≈ 1020°C	1043 °C	1.000 °C	1043 °C
Gas quenching at	> 9 bar	15 bar	7 bar	12 bar
Tempering	≈ 595°C	--	585°C	--
Hardness	47 HRC	--	49 HRC	--

A GM próbakocka és a többi próbatest hőkezelési vizsgálatának adatait a SuperTurbo™ és a Turbo²Treater M kemencében az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Kísérleti hőkezelés és eredményei

4. Berendezések

A nagyméretű szerszámok optimális hőkezelésére az IPSEN nagynyomású edzésre alkalmas vákuumkemencét fejlesztett ki.

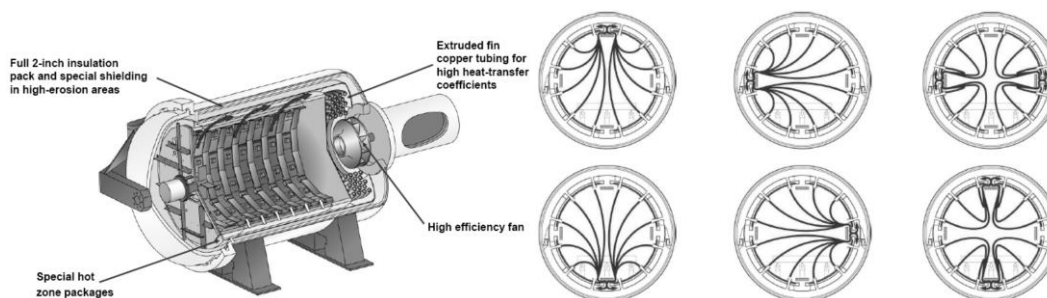
Jelen kísérletekhez a SuperTurbo™ 77100 és a Turbo²Treater M [3]. típusokat használtuk.

4.1. Az IPSEN SuperTurbo™ (12. ábra)

A kísérletekben az egyik alkalmazott kemence az Ipsen SuperTurbo™ 77100 volt, hasznos belmérete Ø 1.950 mm, mélysége 2.500 mm. A kemence maximális súlyterhelhetősége 5 tonna.

Az Ipsen SuperTurbo™ egy szigetelt, ún. „hideg falú” vákuumkemence, konvekciós hatással támogatott elektromos fűtéssel. A fűtött tér kettős, vízkerintetéssel hűtött szénacél burkolatú, a kemence elején teljes keresztmetszetben nyíló ajtóval. A fűtőelemek grafitból készülnek.

A töltet hűtése nagynyomású, ventilátorral kényszerkeringtetett védőgázzal történik, melynek nyomása max.15 bar.



12. ábra: Az Ipsen SuperTurbo™ vázlatja a lehetséges hűtési irányokkal

4.2. The Ipsen Turbo²Treater M

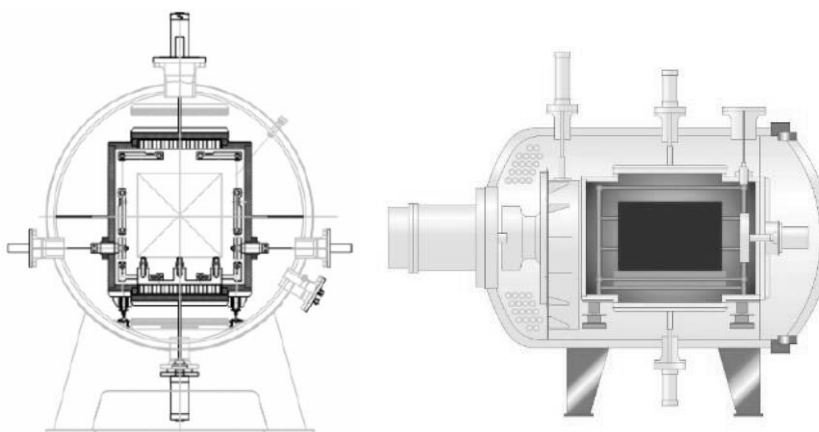
A Turbo²Treater M kemencében a kísérleteket a GM kocka próbatestével és 2 süllyesztékes kovácsoló szerszámmal végeztük.

A Turbo²Treater M kemence hasznos belmérete 610x910x610 mm, maximális súlyterhelősége 800kg.

Az Ipsen Turbo²Treater (7. és 12.ábra)

szintén egy „hideg falú” vákuumkemence, konvekciós hatással támogatott elektromos fűtéssel.

A hengeres ház belsejében a munkakamra négyszögletes, az elektromos fűtőelemek szintén grafit anyagúak. A munka-darabokat tartó grafit elemeket molibdén rudak merevítik.



13. ábra: A Turbo²Treater kemence vázlatrajza

Az új fejlesztésű hűtőrendszer maximális gáznyomása 12 bar lehet, a gáz keringtetését egy 160 kW teljesítményű motorral hajtott ventilátor végzi, vízhűtésű hőcserélőn keresztül. A gázáramlás iránya választható fentről lefelé, vagy fordított irányba. Ezzel a hűtőrendszerrel és 12 bar hűtőgáz nyomással teljesíthető a GMPT által előírt 39°C/perc edzési/hűtési sebesség.

4.3. Opcionális kiegészítők

Az Ipsen vákuumkemencék az alapkivitelen kívül számos opcionális lehetőséggel egészíthetők ki.

- Az LCP (Low Current Power), lágyindítás, a ventilátor által felvett 3600A indítási áram korlátozása 570A-re.
- A meddő teljesítmény (cos φ) csökkentése.

- AvaC és AvaC-N az acetilén bázisú alacsanyomású szenítési és karbonitridálási eljárás.
- A SolNit[®] az ausztenites (SolNit-A[®]) és a martenzites (SolNit-M[®]) acélokra alkalmazható nitridálási eljárás.

5. Összefoglalás

A GM POWERTRAIN DC9999-1 előírásait követve végeztünk vizsgálatokat az IPSEN SuperTurbo™ és Turbo²Treater M kemencékkel. A hőkezelési ciklusok tervezésénél a GM POWERTRAIN előírásainak megfelelően tartottuk szem előtt a minőségi és gazdaságossági kérdéseket.

Vizsgálati próbatestekként a GM POWERTRAIN szabványai szerinti a 400 mm élhosszúságú H13 szerszámacél kockát, valamint a GM nagynyomású öntő és süllyesztékes kovácsoló szerszámait használtuk.

Minden próbatást estében biztonsággal tudtuk teljesíteni a GM POWERTRAIN előírásai szerinti legalább 39°C/perc edzési sebességet, és a megfelelő megeresztési technológiával biztosítottuk az előírt szerszámkeménységet, így mindkét kemence hiánytalanul megfelelt a GM POWERTRAIN előírásainak, és elnyerte a GM akkreditálását.

Irodalom

- [1] *Th. Wingens, Ipsen Customer Meeting, Duesseldorf 2014: Vacuum furnaces*
- [2] *GM POWERTRAIN Standard specification:
DIE INSERT MATERIAL AND HEAT TREATING SPECIFICATION
SPEC. NO. DC-999-1, Date issued: 6-3-83, REVISION: 18, REVISION DATE: 3-01-2005*
- [3] *Jamel BenHamida & Matthias Rink: The use new types of large and middle size vacuum batch furnaces for heat treatment of moulds and dies*

A hőkezelés szaknyelvének állapota

Status of the heat treatment professional language

Dr. Dobránszky János¹

Összefoglalás

A cikk áttekintést nyújt a hőkezelési szaknyelv sajátos helyzetéről, és a régi magyar szakkönyvekre hivatkozva könyörgést fogalmaz meg a szakma jelenlegi művelői és felelősei irányába: tegyünk többet közösen a hőkezelési magyar szaknyelv fejlesztése, ápolása érdekében.

Bevezetés

Minek kell erről a témáról beszélni? Érdeklí a robotokat meg a digiteket a duma?

- válasz: mindenki erre kíváncsi; ez nem valószínű ...
- válasz: már jó régen volt téma; ez igaz, de talán nem is kellene feszegetni ...
- válasz: érdemi munka helyett duma; ezt nehéz lenne cáfolni ...
- válasz: megállíthatatlanul dübörög felénk az Ipar 8.0 (vagyis a nyóócadik ipari forradalom).

Elgondolkodtató példák a helytelen szaknyelvi és/vagy anyanyelvi kifejezésekre egy korábbi hőkezelő konferencia kiadványából, az Interneten fellelt, hőkezelési tárgyú, egyetemi tananyagokból, s a felsorolás végén a mostani konferencián hallott kifejezésekből.

- 0.1-0.3% Mg tartalom beötvöződik
- 500-550 oC nitrálódoboz
- 970 C°-on
- acélban nitridképző elemek szükségese (pl.: Al, Cr, Mn, stb.)
- alakemlékező jellemzők
- alkalmazott hűtési sebesség
- amorph oxidréteg
- ausztenit-tartomány
- befagyasztott vakanciák
- bórozás
- edzett acél ridegrésének megszüntetése
- ELECTROSPINNING-GÉP
- elegykristály
- eutektoidos acél IHÁ diagramja
- fehér kéreg
- fekete temperálás
- ferrites átalakulás
- „folyamatos” körülmények
- gázok hatása: a nitrogén semleges
- gőzfázisú bevonatképző eljárások
- gyémántbevonat is készíthető
- hosszútávú relaxáció
- hőcsere megvalósulhat hőáramlással
- hőkezelhetősége alatt szűkebb értelemben az átedzhetőséget értjük
- hőkezelő aggregát
- hőntartás
- ideális paraméterek meghatározása
- infrastruktúrális biztonságvédelem
- izotermális edzés
- izotermális légnyítás
- karbonizáció (cementálás)
- karbontartalom kiválása, mely cementitként történik, azaz diffúzió
- keménységfokozó hőkezelések
- kéregötvöző hőkezelések

- kérgesítés
- kikeményítő megeresztés
- kocsisfenekű kemence
- kombinált edzés
- koncentráció-fluktuáció
- kontur edzés
- következményes fémtani változások
- közönséges edzés
- kristálytani defektus
- kritikus hűtési sebesség
- lépcsős edzés
- lézerrel edzett sávok
- lineáris vakanciák
- magas / alacsony széntartalmú acél
- martenzit - igen kemény, keménységét a rácselemek torzultsága okozza
- mártóedzés
- munkadarab felszíne és magja
- nagy energiasűrűségű részecske sugár
- nagy nyomású nitrogén edzés
- nagyenergiájúforrásokkal végzett kezelések: lézeres edzés
- nitridálás (nitrálás)
- nitridálás folyékony ionos közegben
- normalizálás: hűtés lassan /nyugvó levegőn, homokba, hamuba ágyazva/
- orrgörbék
- ötvözetlen szénacél
- primer reakció
- saját meleggel, 160-250 C hőmérsékletű olajban főzik
- sav és hőállóság
- sisak kemence
- sorbit, troostit
- sousvide technológiák
- szegregációs nemesítés
- szemcsésperlit

- szerkezet-meghatározás metallográfiai úton
- technofunkcionális tulajdonság
- titánium implantátumok
- visszamaradó ausztenit
- vízedzésű acélok

A mostani konferencia terméséből (a szóbeli közlések fonetikusán)

- additív maufakcsöring
- szubtraktív eljárás
- saválló acél
- röntgen diffrakciós analízis a poron
- inertizál
- mikro és makró keménység
- makroszkópos vizsgálat
- védőgáz
- metallográfiai folyamat
- korombevonat
- okoskemence
- aplifejlesztés
- aluledzett szerkezet
- maradék ferrit
- makroszkópikus
- belső deformáció
- infravörös technológia
- brézing
- Ramp-es visszahűtés
- szoftskill
- kriogénikus hűtés
- normális szemcse
- duálacél
- DIC technológia
- forraszkompozit
- legoptimálisabb

S újra és újra minden magas / alacsony.

¹ A szerző tudományos tanácsadó az MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoportban

Végül azt sem lehet elhallgatni, hogy magának a konferenciának az elnevezése is nagyot botlik a nyelvhelyesség küszöbén, ugyanis helyesen a „hőkezelési” jelző dukálna a hőkezelők konferenciájának (hasonlóan pl. a hegesztőkéhez, de eltérően a képlékenyalakítókétól).

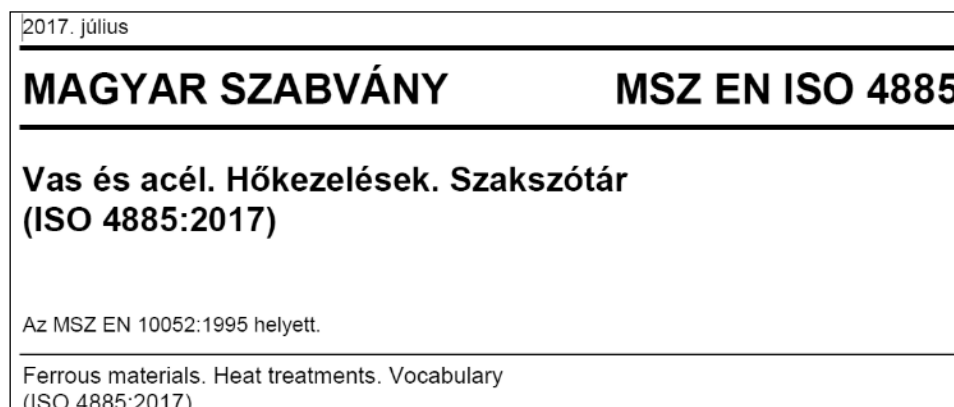
Nem lenne itt valami kapaszkodó, legalább a szakkifejezések terén?

Nagyon kényelmes a válasz, hiszen évtizedek óta léteznek (egykoron az acélok szabványgyűjteményeibe „beszerkesztett”) műszaki ajánlások, amelyek a szakkifejezéseket és azok meghatározását tartalmazzák:

- 1.) Vasötvözetek hőkezelési műveleteinek rövidített közlési módja (1982.) → 168 db kifejezés.
- 2.) A vasötvözetek hőkezelésének fogalommeghatározásai (1995. és 2003.) → 202 db kifejezés.

Csak néhány régi, de ritkán hallott szakkifejezés álljon itt, amelyeket – meg merem kockáztatni – a Hőkezelés tananyagait egyetemi tantárgyak keretében oktató professzorok sem emlegettek túl sokat az elmúlt évtizedekben: *tülcementálás, interkritikus lágyítás, vanádiumozás, érzékenyítés, szekunder martenzit, maradék ausztenit destabilizálása, visszacementálás*. Kötelezően kisigényű lévén, már azzal is beérem, ha a nagyon gyakran emlegetett „hőn tartás” kifejezést végre helyesen (lásd négy szóval előbb) írják le a szerzők.

Még kényelmesebb a helyzet, ha figyelembe vesszük az *1. ábrán* látható dokumentumcímlap-részletet. Nagyszerű és nagyon friss, de van egy nagy baja: csak a címlapja magyar nyelvű. Ezen azonban úgy lehetne segíteni, **ha mindazok, akiknek fontos a magyar szaknyelv ápolása, azok összefognának** pl. velem, **és közadakozással és közös munkával elkészítenék a szabvány magyar nyelvű kiadását**. Ízelítőnek és kedvcsinálónak néhány, magyarra fordítandó angol szakkifejezés: *ausferrite, bainitizing, baking, core refining, electron beam hardening, two-stage nitriding, black nitriding*.



1. ábra: A hőkezelési szakszótár 219 szakkifejezést és annak meghatározását tartalmazza

Mi a helyzet a tankönyvek és a szakkönyvek terén?

Itt már nem olyan nagyon kényelmes a válasz, hiszen ugyan évtizedek óta léteznek tankönyvek és szakkönyvek, de úgy tűnik, mintha a politikai szabadság, a demokrácia és a jólét mintha kipusztította volna az egyetemitankönyv- és szakkönyvírás kedvet, mert az 1990 óta megjelentetett hőkezelési szakkönyvek nem lépik el a könyvespolcokat, és ezek is főleg referáló művek. A helyüket átvehették volna a doktori értekezések, de talán jobb is, hogy ez nem így történt.

Tanulságos megnézni a miskolci anyagmérnöki alapképzés „Vasötvözetek hőkezelése” tantárgyának 2018-ban elkészített, ún. tantárgyi kommunikációs dossziéjában a hallgatók számára előírt és ajánlott szakirodalom jegyzékét, és azon belül is a megjelenési évszámokat:

„Oktatási segédeszközök

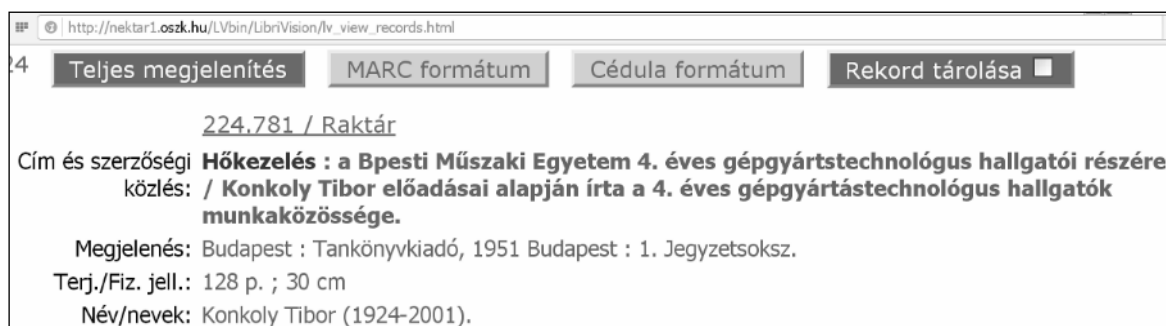
Kötelező irodalom

- Verő J., Káldor M., Vasötvözetek fémtana, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1971
- Szőke L., A hőkezelés fizikai alapjai, Tankönyvkiadó, Budapest, 1964
- J. R. Davis, ASM Handbook, Volume 4, Heat treating, ASM International, 1991

Ajánlott irodalom

- Artinger István, Szerszámacélok és hőkezelésük, Műszaki könyvkiadó, 1978
- Neményi Rezső, Védőgázos hőkezelés, Műszaki könyvkiadó, 1974
- H-J. Eckstein, Warmebehandlung von Stahl, Leipzig, 1969”

Az Országos Széchenyi Könyvtár országos katalógusában található első, magyar nyelvű, a címében a „hőkezelés” kifejezést tartalmazó tankönyvet *Konkoly Tibor* professzor írta. A könyv 1951-ben jelent meg, és az OSZK/nektári cédulája látható a 2. ábrán.



2. ábra: Az első, magyar nyelvű tankönyv, melynek címében a „hőkezelés” kifejezés benne van

Természetesen a BME mellett más egyetemeken és főiskolákon is megjelentek tankönyvek vagy jegyzetek, és ezeket sokszor újranyomták, jellemzően javítás és változtatás nélkül, de legalább kaptak a hallgatók valami olvasható forrást az ismereteik bővítéséhez.

A tankönyveknél lényegesen jelentősebb szerepet kaptak a szakma igazi szaktekintélyei által írott szakkönyvek, amelyek nagy példányszámban jelentek meg, így a szakemberek széles köre tudta használni azokat a munkájához. A 3. ábra e nagyszerű szakkönyvek címlapjait mutatja; érdemes megfigyelni, miként változik a kiadott művek száma az évtizedek előrehaladásával. Bármilyen meglepő is, de az utolsó igazi, klasszikus, tehát saját tapasztalatokat összefoglaló mű 1985-ben jelent meg, szerzője az idén 98 éves *Szombatfalvy Árpád*; az Isten éltesse sokáig!

Azért senkit ne tévesszen meg az, hogy 1949 előtt a magyar szakkönyvek nem foglalkoztak a hőkezeléssel! A 4. ábra éppen azt példázza, hogy éppen a hőkezelés volt a mai fogalmaink szerinti anyagtechnológia hazai megalapozójának, a 90 éve elhunyt *Rejtő Sándornak* a négykötetes szakkönyvsorozatában is az elsőként megjelent mű központi témája; csak ő még „melegségnek” mondta (akkoriban a hőő-t még leginkább az elszabadult lovak megfékezésére kiabálták).



3. ábra: A magyar nyelvű hőkezelési szakkönyvek címlapjai

AZ ELMÉLETI
MECHANIKAI TECHNOLOGIA ALAPELVEI
ÉS A FÉMEK TECHNOLOGIÁJA

ELSŐ KÖTET

A MELEGSÉG HATÁSA A SZILÁRD ANYAGOK
MECHANIKAI TULAJDONSÁGAIRA

REJTŐ SÁNDOR

GÉPÉSZMÉRŐK,

MŰEGYETEMI TANÁR, A III. OSZT. VASKORONAREND LOVAOJA,

M. K. UDV. TANÁCSOS, A M. T. AKADÉMIA LEV. TAGJA

Budapest, 1915. évi november havában.



→Erdélyi Digitális Adattár→ www.eda.eme.ro

A vas-szénötvözetek meleg kezelése	151
181. A helyes edzés feltétele	151
182. A kilagyítás hatása	151
183. Az oxidálódás meggátlása	153
184. A lágyítókemencék... ..	155
185. Az edzés hőfoka	156
186. A lehűtés módja	157
187. A megeresztés	157
188. A kettős edzés	158
189. Az edzéssel járó sűrűségváltozás	158
190. A különleges acélok edzése	159
Szilárd vasötvözetek széntartalmának módosítása	159
191. A felületi edzés alkalmazhatósága	159
192. A temperálás hatása	160
193. A cementálás és temperálás feltétele	160
194. A szénoxid és széndioxid hatásának tanulmányozására alkalmazott berendezés	160
195. A szénoxidnak, továbbá a szénnek szénoxiddal párosult cementáló hatása	161
196. Giolitti vegyes eljárása	162
197. Szén-hidrogén gázokkal való cementálás	163
198. Szén-nitrogén tartalmú szilárd anyagokkal való cementálás... ..	163
199. Faszénnel való cementálás	164
200. A szilárd szén beszűrődésének káros hatása	165
201. Oldott szén-nitrogén tartalmú anyagokkal való cementálás... ..	166
202. Szénsavval való temperálás	167
203. Mészkövel való temperálás	168
204. Vörösvasércel való temperálás	169

4. ábra: Rejtő Sándor arcképe, legendás szakkönyvének címlap- és tartalomjegyzék-részletei; a teljes mű, mind a négy kötet, elérhető az Erdélyi Digitális Adattárban: www.eda.eme.ro

A 3. ábra könyvei között, az alsó sorban látható Artinger professzornak a szerszámacélok hőkezeléséről szóló, 40 évvel ezelőtt megjelent könyve, amely az 5. ábrán is látható. A külön kiemelésnek az adott szomorú aktualitást, hogy éppen a konferencia előtti héten távozott közülünk.



5. ábra: A szerszámacélok hőkezeléséről 1978-ban megjelent szakkönyv címlapja és a szerző, a 2018-ban elhunyt Artinger István

A hőkezelési szakma napi fontosságú szakdokumentumai a hőkezelési szabványok

A szabványok jelentősége... A legtöbben azonnal rávágják, hogy na, eztán egészen természetes, nem kell ezen lovagolni. A tapasztalataim szerint azonban egyáltalán nem magától értetődő a szabványok jelentőségének elfogadása, sőt, akadnak olyan jelenségek is, amelyek kifejezetten aggasztóak. Nemhogy nem egyedi eset, hanem egyre inkább terjedő jelenség a szabványok tudománytalannak s így feleslegesnek, tartása, mely viszonyulás esetenként valamiféle elitista gögre alapul. Az általános helyzet azért nem ilyen rossz; a képet leginkább „csak” a szabványok létezésének nemismerete és a szabványhasználati kultúra erős hiányosságai jellemzik.

Az alábbi listában ezért felsorolom a hőkezelést vagy valamelyik rokon kifejezést a címükben tartalmazó, Magyarországon a konferencia idején érvényben lévő szabványokat. A szabványok túlnyomó része nem magyar nyelvű, de a szabványok címe minden esetben magyar. Amint a listában a kiemelések jelzik, sajnálatos módon nem mindig sikerült az angol szakkifejezést helyesen magyarra átültetni az MSZT szakfordítójának (ezt nagyon diplomatikusan igyekeztem megfogalmazni). Ezért is lenne fontos bekapcsolódnia a szakmai felelősséget is hordozó intézmények és vállalatok képviselőinek a *Magyar Szabványügyi Testület* megfelelő műszaki bizottságainak munkájába; hőkezelési szakbizottsága nincs az MSZT-nek, de ez nem lehet akadálya a munkának.

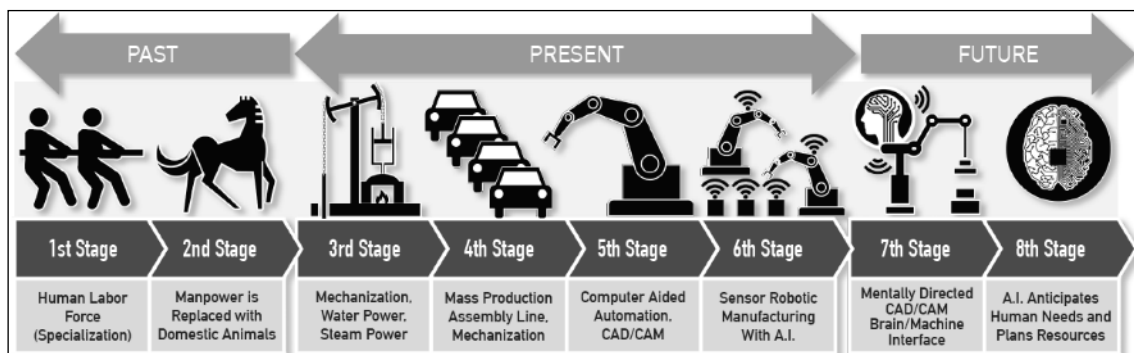
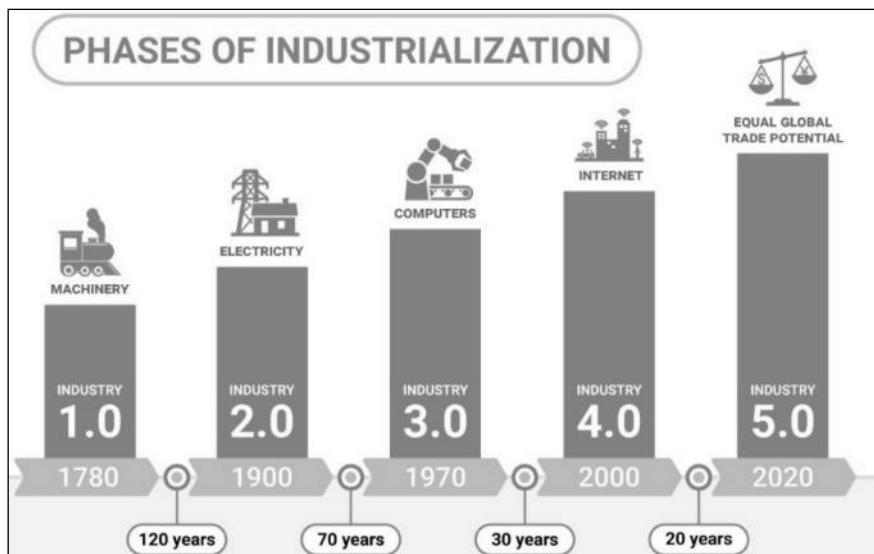
1. Acélsövek belső és/vagy külső védőbevonata. Az automatizált üzemekben alkalmazott **tűzi-mártó eljárással és hőkezeléssel létrehozott ón-vas ötvözet bevonatok** követelményei. Internal and/or external protective coatings for steel tubes. Specification for **hot dip galvanized coatings** applied in automatic plants
2. Építési üveg. **Hőkezelt (heat soak tesztelt)**, termikusan edzett alkáliföld-szilikát biztonsági üveg. 1. rész: Fogalommeghatározás és leírás **Glass in building. Heat soaked thermally toughened** alkaline earth silicate safety glass. Part 1: Definition and description
3. Repülés és űrhajózás. Fémek. Hőkezelő berendezések. Általános követelmények

4. Repülés és űrhajózás. NI-CH1303 (NiCo20Cr20Mo5Ti2Al) hőálló ötvözet. Nem hőkezelt. **Eleganyag** újraolvasztáshoz. Aerospace series. Heat resisting alloy NI-CH1303 (NiCo20Cr20Mo5Ti2Al). Non heat treated. Remelting **stock**
5. Repülés és űrhajózás. X4CrNiMo16-5-1 (1.4418) jelű acél. **Levegőn hőkezelt**. Nemesített. Rúd. De <= 150 mm. 1100 MPa <= Rm <= 1300 MPa. Aerospace series. Steel X4CrNiMo16-5-1 (1.4418). **Air melted**. Hardened and tempered. Bar. De <= 200 mm. 1 150 MPa <=Rm <= 1 300 MPa
6. Repülés és űrhajózás. X4CrNiMo16-5-1 (1.4418) jelű acél. **Levegőn hőkezelt**. Nemesített. Kovácsolandó munkadarabok. De <= 300 mm. Aerospace series. Steel X4CrNiMo16-5-1 (1.4418). **Air melted**. Softened. Forging stock. De <= 300 mm
7. Fémek és ötvözetek korróziója. Az **oldó hőkezeléssel kezelhető** alumíniumötvözetek kristályközi korrózióállóságának meghatározása (ISO 11846:1995) Corrosion of metals and alloys. Determination of resistance to intergranular corrosion of **solution heat-treatable** aluminium alloys (ISO 11846:1995)
8. Fémek és ötvözetek korróziója. A **hőkezelhető alumíniumötvözetek** kristályközi korrózióra való érzékenységének értékelése anódos vizsgálattal (ISO 15329:2006) Corrosion of metals and alloys. Anodic test for evaluation of intergranular corrosion susceptibility of **heat-treatable aluminium alloys** (ISO 15329:2006)
9. Műanyagok. Cellulóz-acetát. A **sajtol** próbatesteken a fényelnyelés meghatározása a hőkezelés különböző időszakát alkalmazó gyártással (ISO 1600:1990) Plastics. Cellulose acetate. Determination of light absorption on **moulded** specimens produced using different periods of heating
10. Hegesztés. A hegesztéshez és rokon eljárásokhoz kapcsolódó hőkezelés minőségi követelményei (ISO 17663:2009)
11. Fém- és más szerves bevonatok. Cink galvánbevonatok **hőkezelt vason vagy acélon** (ISO 2081:2018) Metallic and other inorganic coatings. Electroplated coatings of zinc **with supplementary treatments on iron or steel** (ISO 2081:2018)
12. Fém- és más szerves bevonatok. Kadmium **galvánbevonatok hőkezelt vason vagy acélon** (ISO 2082:2017) Metallic and other inorganic coatings. Electroplated coatings of cadmium with supplementary treatments on iron or steel
13. Vas és acél. Hőkezelések. Szakszótár (ISO 4885:2017)
14. A papír és a karton gyorsított öregítése. Szárazhőkezelés 105 °C-on
15. A száraz hőkezelés hatása a szövetekre kis nyomáson. Száraz hőkezelési eljárás
16. Kemencék villamos berendezése és kiegészítő berendezések. 1. rész: Alkalmazástervezési és létesítési követelmények
17. Villamos fűtésű ipari berendezések. **Fedettíves kemencék** vizsgálati módszerei (IEC 60683:2011) Industrial electroheating equipment. Test methods for **submerged-arc furnaces**
18. Cementált vagy karbonitrált vasporkohászati gyártmányok. Az **átedződött rétegvastagság** meghatározása és igazolása mikrokeménység-méréssel (ISO 4507:2000) Sintered ferrous materials, carburized or carbonitrided. Determination and verification of **case-hardening depth** by a micro-hardness test (ISO 4507:2000)
19. Acél. Acélok átedzhetőségének vizsgálata véglapedzéssel (Jominy-vizsgálat)
20. Repülés és űrhajózás. Acél FE-CM3801 (X5CrNiCuNb16-4). Homogenizált, **szilárd oldattal kezelt és diszperziós edződésű**. Precíziós öntvény. De <= 50 mm. Rm >= 1030 MPa Aerospace series. Steel FE-CM3801 (X5CrNiCuNb16-4). Homogenized, **solution treated and precipitation hardened**. Investment casting. De <= 50 mm. Rm >= 1 030 MPa
21. Vas és acél. Az **elfogadott kéregvastagság** meghatározása felületi edzés után Iron and steel. Determination of the **conventional depth of hardening** after surface heating
22. Edzetlen kúpos szeg. (ISO 2339:1986) Taper pins, unhardened

23. Edzetlen, belső menetes kúpos szeg (ISO 8736:1986)
24. Edzetlen, **menetes kúpos szeg** (ISO 8737:1986) Taper pins **with external thread**, unhardened (ISO 8737:1986)
25. Repülés és űrhajózás. FE-CM3801 (GX5CrNiCuNb16-4) acél. Homogenizált, **szilárd oldattal kezelt és diszperziós edzésű** precíziós öntvény, $De \leq 50$ mm, $Rm \geq 900$ MPa Aerospace series. Steel FE-CM3801 (GX5CrNiCuNb16-4). Homogenized, **solution treated and precipitation hardened**, investment casting $De \leq 50$ mm, $Rm \geq 900$ MPa
26. Repülés és űrhajózás. FE-PM 3504 (X4CrNiMo16-5-1) acél. Levegőn olvasztott. Edzett és megeresztett. **Lemezek és lapok**. $0,6$ mm $\leq a \leq 50$ mm. 900 MPa $\leq Rm \leq 1050$ MPa. Aerospace series. Steel FE-PM 3504 (X4CrNiMo16-5-1). Air melted. Hardened and tempered. **Sheet and plate**. $0,6$ mm $\leq a \leq 50$ mm. 900 MPa $\leq Rm \leq 1050$ Mpa
27. Hengeres szeg edzetlen acélból és ausztenites korrózióálló acélból (ISO 2338:1997) Parallel pins, of unhardened steel and austenitic stainless steel
28. Hengeres szeg edzetlen acélból és ausztenites korrózióálló acélból (ISO 2338:1997)
29. Acélok. Betétben edzett acélok kéregvastagságának meghatározása és igazolása (ISO 2639:2002)

Hogyan tovább?

A kérdésre nehéz felelni. A fentiekben, már a kivonatban (amelyet magyarul egyre inkább absztraktnak hívnak) is, tettem rá javaslatot, de nem vagyok naiv. A 6. ábra ugyan arra figyelmeztet, hogy ha nem igyekszünk, elsodor minket a ma még talán divatosnak mondható 4. után az 5., a 6., a 7. s majd a 8. ipari forradalom, de miért is állnának meg a nyőócadiknál?



6. ábra: Az úgynevezett ipari forradalmak két, divatos ábrázolása; nyakonkon a nyőócadik ...
(forrás: Rossi B: Manufacturing gets personal in Industry 5.0)

Márminthogy kik is állnának meg miért ...? Kik? Hát a masinák és az ő lelkük: a mesterséges intelligencia! Azok, amelyek (vagy már az akik jár nekik?) egyszer majd a maguk kedvére-örömére nanofabrikálnak valami „embert”, esetleg „gendert”, és gondosan meghőkezelve – szuvid temperálás és ropogósra kérgesítés után – találják; a robotok megálmodta emberkert robot látogatóinak.

Vagy talán mégsem? Ez, hacsak egy kicsit, tán rajtunk is múlik; de lehet, hogy tévedek, és már minden eldőlt. Búcsúzóul szívleljük meg az akkor 90 éves *Szombatfalvy Árpádnak* a 8 éve, a konferencián mondott üzenetét: *„ha gondot fordítunk a helyes, érthető, magyaros fogalmazásra, nem csupán előadásunk értékét növeljük, hanem ezzel nyelvünk műveléséhez is hozzájárulunk”*.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet Tóth Tamásnak, aki a dicső elődök nyomán két évente megszervezi a hőkezelési konferenciát, és így módunk van találkozni egymással, s egy kicsit elmerengni a Balaton partján, a nagyszerű szobrokra véssett, tanulságos bölcseségeken.

Az ISVH üzemében működő ANTAL többcélú kemencében alkalmazott technológiák sajátosságai, újszerű megoldásai

Peculiarities and novel solutions of the technologies used in the ANTAL multi-purpose furnace at the ISVH plant

Tapasztó Péter¹

Tisztelettel köszöntök minden kollégát! Tapasztó Péter vagyok, az ISVH Műszaki Zrt. igazgatósági tagja és cégvezetője. Cégünk a hazai bérhőkezelő szolgáltató vállalkozások közé tartozik. A jelenlegi tulajdonosi kör és cégforma 2012-ben alakult ki, de mivel a jogelőd ISVH Kft-ben is ugyanez a tevékenység zajlott, ezért elmondható, hogy több évtizedes tapasztalattal vagyunk a tradicionális szereplői ennek az iparágak. Az új tulajdonosi kör által meghatározott cél a piacvezető szerep megszerzése és fenntartása, amely cél elérése érdekében új alapokra helyeztük a vállalkozást, szervezeti, műszaki, minőségügyi fejlesztéseken keresztül. A szolgáltatásunkat hagyományosan igénybevevő gépipari vállalkozások kiszolgálása mellett a növekedésünket az autóiipari megrendelésekre alapoztuk, erre készítettük fel a céget az első években. 2012 és 2017 között közel 50%-al nőtt a forgalmunk, tehát elmondható, hogy a terveink a várakozásaink szerint alakultak.

A megnövekedett forgalom miatt szükségünk volt több területen is kapacitásbővítésre, így kerültünk kapcsolatba az ANTAL Kft-vel, ők nyerték a védőgázos üzemünk bővítésére kiírt tendert és építettek egy új kemencesort üzemünkben.

A beruházás keretében elkészült egy többcélú védőgázos kamrás kemence 1500*900*650-es hasznos kamramérettel, bruttó 1 tonnás adagsúllyal, egy hozzá méretben illeszkedő mosó illetve megeresztő berendezéssel. A védőgáz ellátásra egy új endogáz generátor lett beállítva.

Már az igények megfogalmazásánál nyomatékosan kiemeltük, hogy milyen autóiipari minőségügyi elvárásoknak kell megfelelnie a berendezésnek:

- hőmérséklet-karbonpotenciál pontossága, homogenitása,
- szenítés, szénpotenciál szabályozás és olajhűtés körülményei, azok metallográfiai vonatkozásai,
- alkatrészek hőkezelés utáni felületi minősége, esztétika.

Kiemelném, ezt az utóbbi szempontot, ami tapasztalataink szerint egyre inkább fontos a vevőknek és akár kiemelt témája is lehetne egy ilyen konferenciának. Nyilvánvalóan nagyon fontos szerepe van az edzőolaj eltávolításának a mosási műveleten keresztül, de vannak olyan szennyeződések is, melyek nem távolíthatók el mosással hatékonyan és reklamáció tárgyát képezhetik, extra műveleteket és ezáltal költségnövekedést generálhatnak.

Amiről ezzel kapcsolatban beszélni szeretnék az első hallásra csekély jelentőségű dolognak tűnhet, de gondoljunk bele, hogy autóiipari beszállítóként egyre igényesebb piacon dolgozunk, ahol egyre magasabbak az elvárások. Amikor egy olyan átvételi feltételt kell teljesíteni ahol mikrogrammban van megadva az alkatrész felületén megengedett szennyeződés határértéke, ez a tisztasági kérdés különösen fontossá válik! Az autóiipari minőségbiztosítási szemlélet hozta magával, hogy minden részfolyamatot elemzünk és az így nyert tapasztalatokat felhasználjuk az adott folyamat fejlesztésére.

Az ANTAL Kft. által szállított kemencén alkalmazott atmoszféraszabályzási módszer ebben a problémakörben hozta az első és leglátványosabb eredményt, így a közös prezentációnak a részeként most felhasználói oldalról szeretnénk ennek egy kicsit mögé nézni, hogy miben újszerű számunkra ez a megoldás és milyen előnyökkel jár.

Kiinduló állapot más gyártmányú kemencéinken alkalmazott megoldás mellett:

- Évek óta küzdöttünk azzal a problémával, hogy bármilyen cizellált mosási eljárást alkalmaztunk, a kéregedett alkatrészek felületén egészen vékony, szabad szemmel alig érzékelhető, akár filmszerű bevonatként jelentkező korom szennyeződés maradt vissza a folyamat végén, ami korábban is ismert

¹ Vezérigazgató, ISVH Műszaki Zrt.

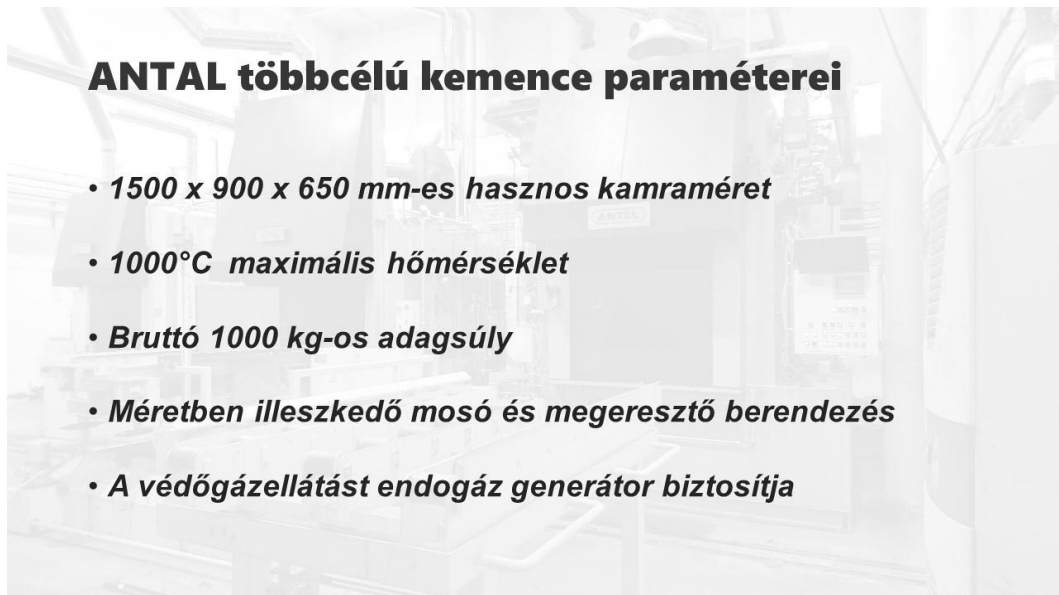
jelenség volt, de igazán az autóipari termékeknel átvételi követelményként megfogalmazott tisztasági elvárás miatt vált égető problémává. A technológiai folyamatot megvizsgálva kiderült, hogy ez a koromkiválás már a felfűtési szakaszban kialakul, köszönhetően a szénttartalmú gázközegben való hevítésnek illetve a felfűtési időszakra jellemző tökéletlen égés körülményeinek. Az ilyen termékek tüzetesebb vizsgálatánál megállapítást nyert, hogy ez a korom bevonat hatással van a metallográfiai folyamatokra is, kedvezőtlenül befolyásolja a tervezett szénítési folyamat kiszámíthatóságát, a felülettől mért optimális karboneloszlást, ezáltal hatással lehet a martenzitképződés folyamatára is és nem utolsósorban akár karbid is kialakulhat, a felületen folyamatosan jelen lévő nagy koncentrációjú szénnek köszönhetően.

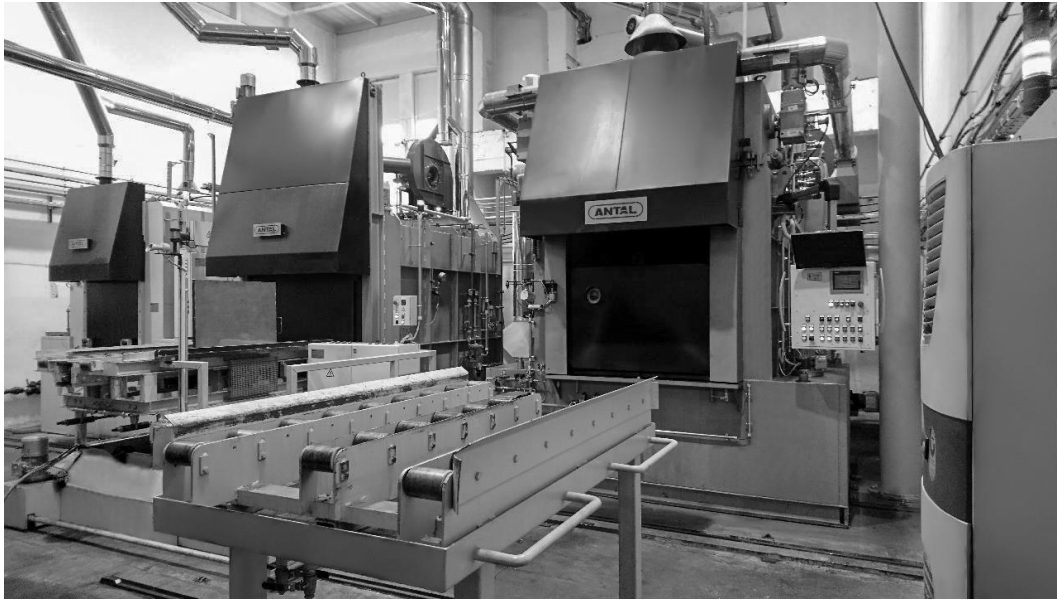
Az ANTAL kemencén alkalmazott megoldás előnyei:

- Az ANTAL Kft. által előzőekben ismertetett megoldással, miszerint a beadagolás és a teljes felfűtési szakasz semleges nitrogén atmoszférában zajlik, ez a jelenség megszűnt, azonnal megoldódtak az ismertetett problémák. A koromkiválás megszűnt, a felület tiszta és a metallográfiai jellemzők is javultak.
- További előny, hogy ugyanazon rétegvastagsághoz tartozó technológiai idők csökkentek, vélhetően a korombevonat bizonyos mértékben befolyásolta a cementálódást és mivel ettől megszabadultunk, így a szükséges szénítési folyamat egyebekben azonos peremfeltételek mellett gyorsabban zajlik le.
- Az 1 tonnás adagok felfűtési ideje kb. 2 óra, ezen idő alatt jelentős dekarbonizáció nem jelentkezik.
- A kéregedzésektől elvonatkoztatva a kemencében a semleges atmoszféra miatt megvalósítható bonyolult geometriájú vagy ötvözt szerszámacél minőségek alacsony hőfokról induló többlépcsős, lassú hevítése, nem kell figyelembe venni a 750°C-os gáz biztonságtechnikai korlátot.
- A hőtartási hőmérséklet elérése után jellemzően 10-15 perc alatt kialakul a szükséges atmoszféra, tehát nem kell elhúzódó telítődésre számítani, rövid idő alatt felépül a cementáláshoz szükséges szénpotenciál.
- Jól reprodukálható programokat eredményez a megoldás, szemben az aktív atmoszférában történő felfűtéssel, ahol nehezen tartható kézben, hogy valójában mikor kezdődik el a cementálódási folyamat, ez pedig bizonytalanságot eredményezhet a technológiában, főként vékony rétegeknél és kis szelvényvastagságoknál.
- Növekvő nitrogénfelhasználás mellett csökken a felhasznált földgáz mennyisége, ezek nagyjából kioltják egymást, nem kell növekvő költségekre számítani.
- A kemence manipulációk, ki- és beadagolás, biztonságos körülmények között történnek, ami balesetvédelmi és biztonságtechnikai szempontból sem mellékes.

Féléves üzemeltetési tapasztalat van mögöttünk, ennek alapján kijelenthető, hogy a megoldás bevált és lényeges kockázatoktól szabadított meg bennünket, ezért arról döntöttünk, hogy a többi kemencénken is alkalmazni fogjuk lehetőség szerint, üzemünkben folyamatban vannak az ehhez kapcsolódó megvalósíthatósági vizsgálatok.

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!





Endogáz generátor



A berendezéssel szemben támasztott követelmények

Kiemelt autóiipari minőségügyi elvárásoknak kell megfelelnie a berendezésnek:

- **Hőmérséklet-karbonpotenciál pontossága, homogenitása.**
- **Atmoszféra szabályozás és olajhűtés körülményei, annak metallográfiai vonatkozásai.**
- **Alkatrészek hőkezelés utáni felületi minősége, esztétika.**

Kiinduló állapot más gyártmányú kemencéinken alkalmazott megoldás szerint

- *A kéregedett alkatrészek felületén egészen vékony, alig látható, filmszerű bevonatként jelentkező korom marad vissza a folyamat végén.*
- *A jelenség az autóiipari termékeknél átvételi követelményként megfogalmazott tisztasági elvárás miatt vált égető problémává.*
- *A koromkiválás már a felfűtési szakaszban kialakul, a széntartalmú gázközegben való hevítés illetve a felfűtési időszakra jellemző tökéletlen égés miatt.*
- *A korom bevonat hatással van a metallográfiai folyamatokra is, kedvezőtlenül befolyásolja a tervezett szénítési folyamat kiszámíthatóságát, a felülettől mért optimális karboneloszlást, ezáltal hatással van a martenzitképződés folyamatára is, és akár karbid is kialakulhat, a felületen folyamatosan jelen lévő nagy koncentrációjú szén miatt.*

Felületek összehasonlítása



Az ANTAL kemencén alkalmazott megoldás előnyei

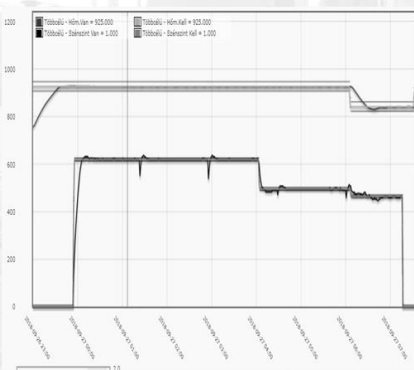
- *Az Antal Kft. által ismertetett megoldással, miszerint a beadagolás és a teljes felfűtési szakasz semleges nitrogén atmoszférában zajlik, a koromkiválás megszűnik, a felület tiszta és a metallográfiai jellemzők is javulnak.*
- *Ugyanazon rétegvastagsághoz tartozó technológiai idők csökkennek, mivel megszűnik a korombevonat cementálódást befolyásoló hatása.*
- *A szükséges szénítési folyamat egyebekben azonos peremfeltételek mellett gyorsabban zajlik le.*

Az ANTAL kemencén alkalmazott megoldás előnyei

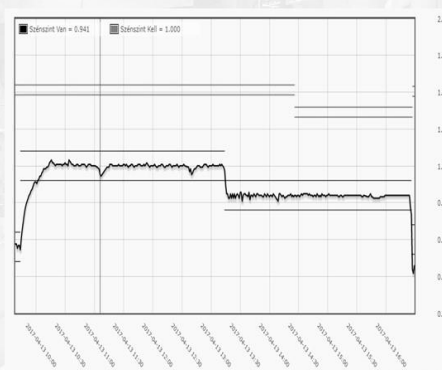
- **Rövid felfűtési idő (2 óra) - dekarbonizáció nem számottevő.**
- **A kemencében a semleges atmoszféra miatt megvalósítható bonyolult geometriájú vagy ötvözött szerszámacél minőségek alacsony hőfokról induló többlépcsős, lassú hevítése, nem kell figyelembe venni a 750°C-os gáz biztonságtechnikai korlátot.**
- **A hőtartási hőmérséklet elérése után 10-15 perc alatt kialakul a szükséges atmoszféra, nem kell elhúzódó telítődésre számítani, rövid idő alatt felépül a cementáláshoz szükséges szénpotenciál.**

Karbonpotenciál felépülése

ANTAL



LOI-YKOGI



Az ANTAL kemencén alkalmazott megoldás előnyei

- **Jól reprodukálható programok, kevesebb bizonytalanság.**
- **Növekvő nitrogénfelhasználás mellett csökken a felhasznált földgáz mennyisége, nem kell növekvő költségekre számítani.**
- **A kemence manipulációk, ki- és beadagolás, biztonságos körülmények között történnek, ami balesetvédelmi és biztonságtechnikai szempontból sem mellékes.**



Összegzés

- *Féléves üzemeltetés után kijelenthető, hogy az ismertetett megoldás bevált és lényegesen csökkenti a kockázatokat.*
- *Minden kemencénken alkalmazni akarjuk lehetőség szerint, üzemünkben folyamatban vannak a megvalósíthatósági vizsgálatok.*



Köszönöm a figyelmet!

IPAR 4.0 a hőkezelésben

Industry 4.0 in the heat treatment

Antal Péter¹, Barabás Zsolt², Petik Viktor²

IPAR 4.0 elmélete

Az IPAR 4.0 fejlődése

Az IPAR 4.0 a negyedik ipari forradalmat jelenti. Ipari forradalomról akkor beszélhetünk, amikor egy új technológiai megoldásnak köszönhetően a termelő rendszerek hatékonysága jelentősen megnövekszik. Természetesen minden ilyen áttérés kizárólag a rendszerek komplexitásának növelésével érhető el, azaz a rendszerek tervezése és üzemeltetése egyre inkább tudás és erőforrás-igényessé válik.

1800-as évek elejéig a használati eszközöket kézzel készítették, a kézműves ipar szervezését a céhek végezték. 1784-ben az első mechanikus szövőszék feltalálása indította el az első ipari forradalmat, az IPAR 1.0 -át, mely majdnem 100 évig tartott. Legfőképpen mechanikus gépek bevezetése jellemezte ezt a korszakot, amelyben az energiaforrás a víz és a gőz volt.

1870-ben egy amerikai vágóhídon állították fel az első szállítószalagot, mellyel elindult a második ipari forradalom, az IPAR 2.0. Ebben az időszakban az ipar fokozatosan áttért a mechanikus tömeggyártásra villamos energia segítségével.

A harmadik ipari forradalom is Amerikából indult. 1969-ben a General Motors részére készítették el az első Programozható Logikai Vezérlőt, a PLC-t, így az elektronika és az információs technika megjelent a termelésben. Az automatikusan dolgozó gyártósorokat digitális rendszerek vezérlik és robotok szolgálják ki (IPAR 4.0 első jelei)

Az IPAR 4.0-át elsősorban Európában, különösen Németországban használják a gyártóipar fejlettségére vonatkozóan. Ez a fejlettségi szint a gyártórendszereknek és az őket támogató informatikai eszközöknek egy rendkívül erős eszköztára köré rendeződött. Ez az új eszköztár, különösen, ha egységes keretben kezeljük, ténylegesen forradalmasítani fogja a teljes gazdaságot.

Kihívások és megoldások

A negyedik ipari forradalom tehát annak köszönhető, hogy olyan technológiai elemek és módszerek alkalmazása válik lehetővé, melyekkel komplex rendszerek, akár teljes ellátási láncok hálózata működtethető összehangoltan és automatizált módon.

Alapja, hogy autonóm, elosztott intelligenciával rendelkező, egymással szoros kapcsolatban lévő „okos” elemek rendszerét alakítjuk ki.

E koncepció megvalósítása nem csupán az „okos” elemek hálózatba foglalását igényli, hanem azoknak egy „kibernetikai térben” való összehangolását is szükségessé teszi.

Azokat az „okos” eszközöket, melyeket ilyen hálózatba lehet kapcsolni, a „dolgok internete”-nek (Internet of Thing - IoT) nevezik, melyek az IPAR 4.0 alapelemei. Az IoT-k olyan eszközök, melyek az interneten keresztül is elérhetőek, és képesek egymással akár önállóan is kommunikálni.

Ezt a kommunikációt „machine-to-machine”-nek (M2M) nevezik, ami olyan adatáramlást jelent, mely emberi közreműködés nélkül, gépek között zajlik.

Ez az adatáramlás hatalmas adatmennyiséget generál, melyet „Big Data”-nak hívnak. A „Big Data” jellemzően felhőrendszerben található, strukturáltan és kielemezve tartalmazza ezt a rengeteg információt.

¹ ANTAL Ipari- és Kereskedelmi Kft.

² Siemens Zrt.

Felhasznált források:

https://www.researchgate.net/publication/301892028_Ipar_40_megoldasok_kialakitasanak_feltetelrendszere

<http://www.muanyagipariszemle.hu/2016/02/egy-uj-ipari-korszak-az-ipar-40-kuszoben-15.pdf>

<http://www.digitalhungary.hu/e-volution/Mi-is-az-az-IoT/2202/>

<https://www.it-services.hu/hirek/mi-az-a-big-data/>

Ipar 4.0 megvalósítása a hőkezelésben

- A berendezés irányítástechnikai kialakításánál alapul vettünk a már jól bevált megoldásokat, ötvözve az Ipar 4.0 megoldásokkal.
- A vezérlés és szabályozási funkciók PLC alapúak lokális kezeléssel, tesztelt, szoftverkomponensekkel, függetlenül a felső szintű adatgyűjtést, így biztosítva a kemence biztonságos üzemvitelét.
- A berendezésben integrálásra került energiamérő rendszer is, amely nemcsak a felhasznált villamos energiát, de földgáz és technológia gázok fogyasztását is képes mérni és kivetíteni egy-egy hőkezelésre.
- A távoli adatgyűjtés egy Siemens IOT2040 Linux alapú adatgyűjtővel oldottuk meg. Lehetőséget kínál a berendezés WEB alapú megjelenítésre, távoli adatbázisba történő archiválásra, vagy felhő alapú adattárolásra , akár Google Drive vagy igény szerint Twitter üzenetben is értesíthetjük a kezelőket. Az összes komponens szabad felhasználású , ingyenesen hozzáférhető.

A hőkezelő rendszer egyéb elemei, melyeket komplett vállalás keretében az Antal Kft. tervezett, gyártott és kivitelezett:

Köszönöm szépen a figyelmet!

Kérdésük esetén, szívesen válaszolunk, állunk rendelkezésükre.

Az előadás diái

SIEMENS
Ingenuity for Life

ANTAL
50 ÉVE AZ IPARI KEMENCÉK VILÁGÁBAN

Óbudai Egyetem
KVK - MAI

IPAR 4.0 A HŐKEZELÉSBE

Barabás Zsolt, Petik Viktor

2018. Október 3.

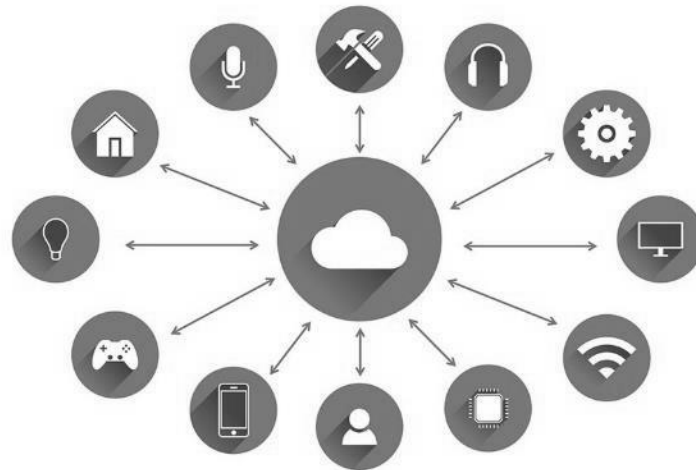
Az IPAR 4.0 fejlődése

Ipár 1.0	Ipár 2.0	Ipár 3.0	Ipár 4.0
Szövőgép, víz és gőz energia	Első futószalagok, tömegtermelés, elektromos áram használatával	Az első programozható vezérlők (PLC). Az elektronika és az IT használata a további automatizálásban.	Kiber-fizikai rendszerek alapján a valódi tárgyak összekötése adatfeldolgozókkal / virtuális tárgyak és folyamatok információs hálózatokon keresztül
1784	1870	1969	Napjaink

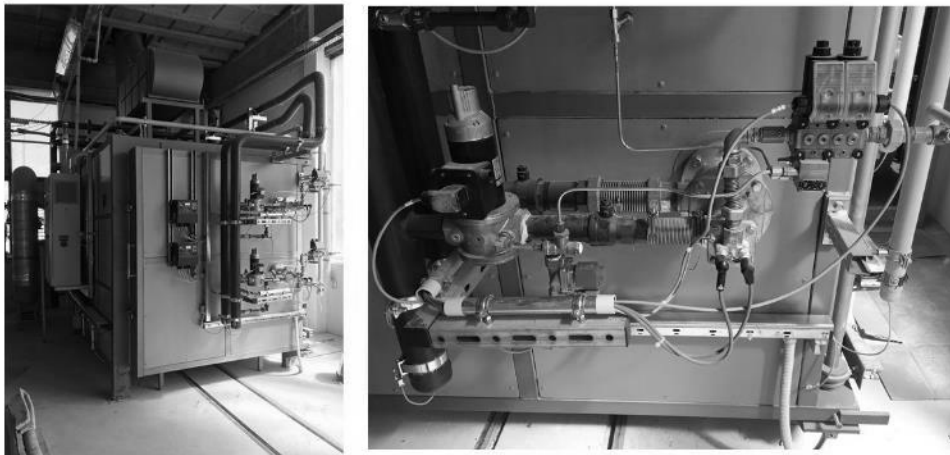
IPAR 4.0: kihívások és megoldások

A diagram illustrating the interconnectedness of Industry 4.0. The central circle is divided into segments representing 'Okos gyárak' (Smart Factories) and 'Okos otthonok' (Smart Homes). Surrounding this are four 'internet' categories: 'A dolgok internete' (Things Internet), 'Adatok internete' (Data Internet), 'Szociális hálózat' (Social Network), and 'Emberek internete' (People Internet). Each category is linked to specific smart infrastructure elements like 'Okos mobilitás', 'Okos villamos-hálózat', 'Okos logisztika', 'Okos épületek', and 'Okos otthonok'.

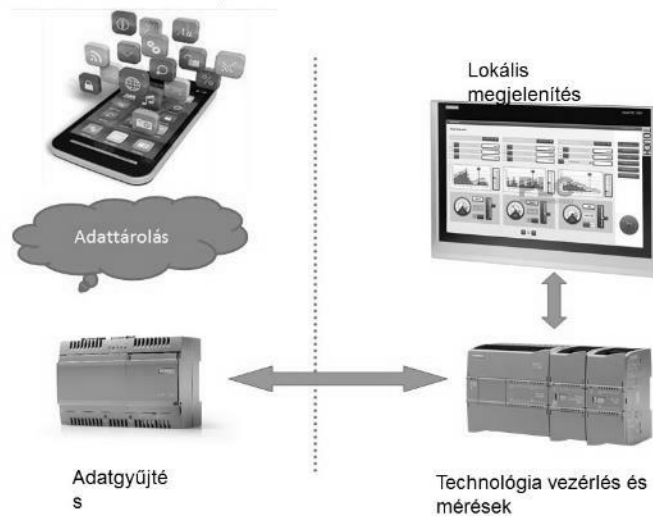
IPAR 4.0 alapelemei: IoT, Big Data



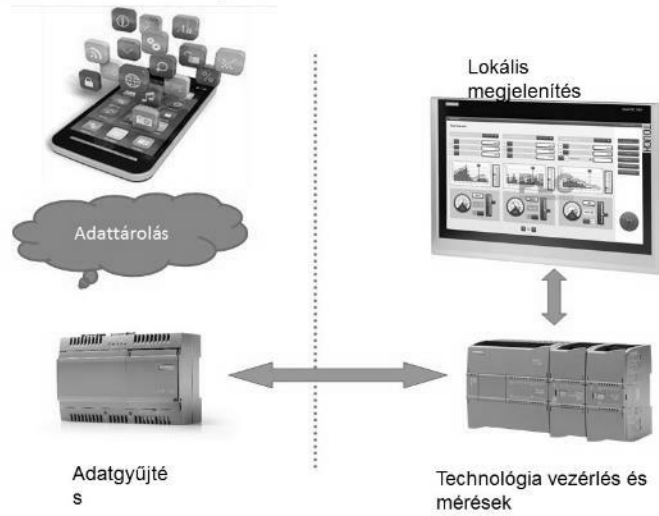
IPAR 4.0 megvalósítás: Kemence ,mint technológia



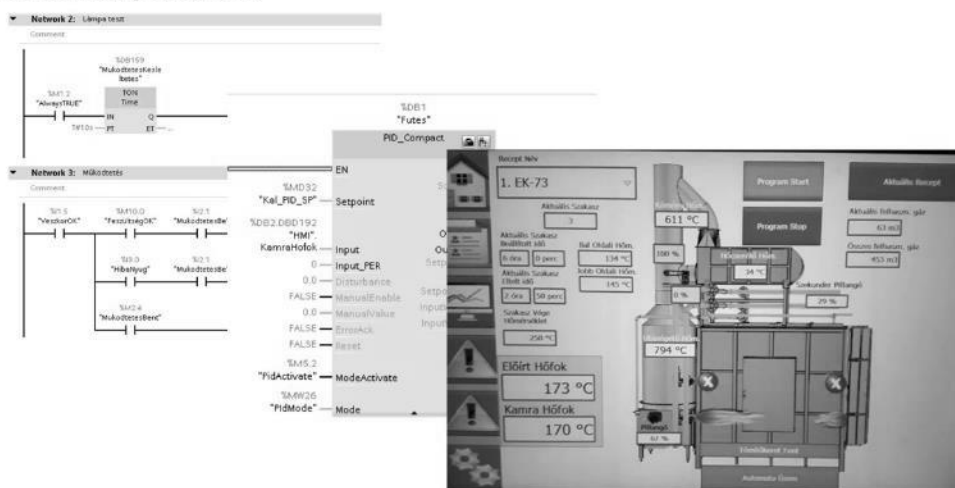
IPAR 4.0 megvalósítás: A koncepció



IPAR 4.0 megvalósítás: A koncepció

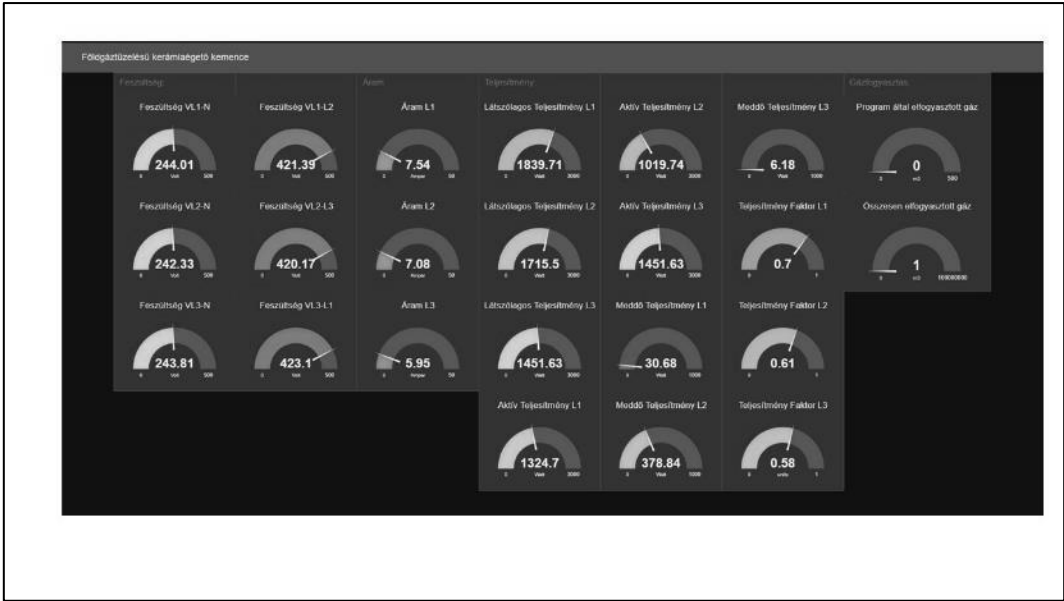


IPAR 4.0 megvalósítás: Szoftveres megvalósítás, a jól bevált megoldások és szoftverkomponensek



IPAR 4.0 megvalósítás: IOT gatewayzabada,nyitott...

The advertisement for the IPAR 4.0 IOT gateway features a central image of the gateway device with a network cable plugged in. Surrounding the device are logos for various supported technologies and protocols: **Linux** (Powered By), **Node-RED**, **MySQL**, **Microsoft SQL Server**, **ARDUINO**, **Modbus**, **OPC UA**, **PROFI NET**, **Google**, and the **SIEMENS** logo with the tagline "Ingenuity for life".



Köszönjük a
figyelmüket!


Nemesítési mikroszerkezet hatása a nitridált munkadarab minőségére (esettanulmány)

Effect of tempered steel microstructure on the quality of nitrided workpiece
(case study)

Juhász Gyula¹

Esettanulmány

Nemesítési mikroszerkezet hatása a nitridált munkadarab minőségére



Balatonfüred
2018. okt. 3-5.

Juhász Gyula
ügyvezető
TS-Magyarország Kft.

XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia

1

Előadás tematika

Cégcsoport, munkatapasztalat bemutatása

- Eset leírása
- Alapanyag, selejtes munkadarab jellemzők vizsgálata
- Kísérletek

Összegzés



XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia

2

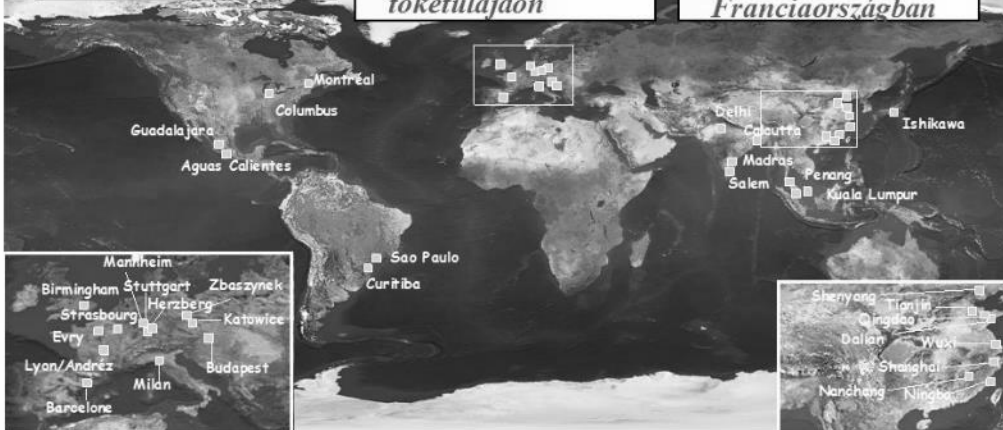
¹ Ügyvezető, TS-Magyarország Kft.

Cégcsoport globális jelenléte

- 75 ipari telephely
- Jelenlét 21 országban

- 2.600 alkalmazott
- 301 M€ árbevétel
- Alkalmazotti tőketulajdon

- 4 kutatási központ :
France, Germany,
India, Canada
- 60 kutató
Franciaországban



Nitridálási tapasztalat

HEF Csoportszinten: évi 75.000T acél nitridálása

A TS Magyarország kft. : évi 500T acél nitridálása

- * Szerkezeti acél nitridálás :
365T/év, 73%
- * Szerszámacél nitridálás:
100T/év, 20%
- * Ausztenites acél nitridálás:
35T/év, 7%



Hiba jelleg leírás

Kőolajipari tolózár alkatrész

Rajzi előírás:

anyag: C:0,27-0,43%, Mn:0,4-1%, Cr:0,8-1,15%, Mo:0,15-0,5%

Tenifer QPQ kezelés

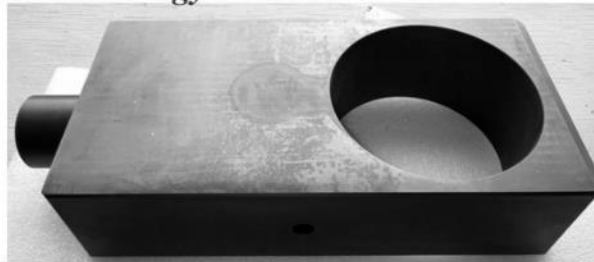
Rétegvast.:0,001"-0,006" HRCmin.:50 egyenértékre

Ra: max:0,2 μ m

síklapúság:0,7 μ m

Reklamáció:

- *síklapúság eltérés*
- *HRCmin.:50 a 0,001"-0,006" rétegben nem teljesül*
- *esztétika, szín homogenitás*



Vizsgálatok selejtes darabon, hibaok feltárása

Rétegjellemzők vizsgálata valós darabon:

* Diffúziós réteg(NHD) rendben
* Rétegekeménység,0,001-0,006"
nem megf.,50HRCmin. egyenértékhez.

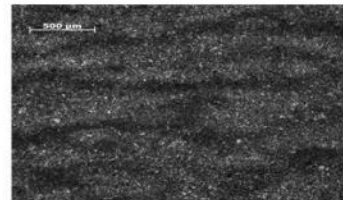
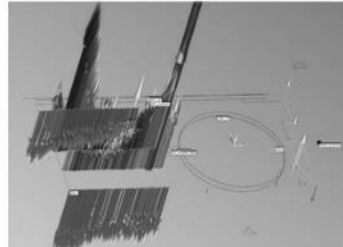
* Síklapúság nem megf.
* Esztétika, színhomogenitás nem megf.



*XXVIII. Hőkezelő és
Anyagtudomány és Gépgyártásban
Országos Konferencia*

Vizsgálatok selejtes darabon, hibaok feltárása

- **3D mérőgépen síklapúság ellenőrzése, eltérés síklapúságtól: 44µm**
- **Próba nitridálás:**
ellenőrzött körülmények közt a selejtes darabból egy kivágott szeleten: diffúziós réteg rendben, a HRC50 egyenérték rétegekeménysége megint nem teljesül.
- **Anyagösszetétel:**
C:0,31%, a többi jellemző ötvözők rendben.
- **Anyagszerkezet:**
Kis nagyításnál soros inhomogén szerkezet, további nagyításoknál be nem oldódott ferrit, a beedződés mértékét 50%-ra becsültük.



XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia

Hibaok feltárása, egyeztetés a megrendelővel

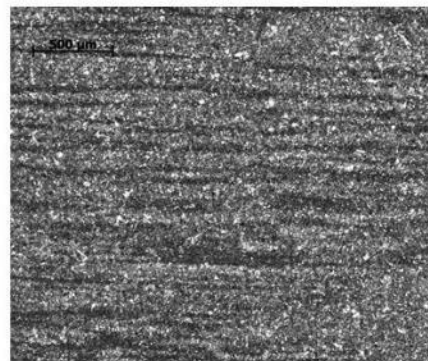
Új gyártású alkatrészeket kértünk, 10 db.
Anyagösszetétel ellenőrzés: rendben.

Metallográfia: a nemesített szerkezet nem megfelelő, soros hengerlési nyomok

A beedződés mértékét 70%-ra becsültük.

Próba nitridálás: a rétegekeménység megint nem teljesült.

XXVIII. Hőkezelő és
Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia



Kísérleti terv

- * A nitridálás utáni elhúzóadás, a rétegkeménységi és nemesítési szerkezet problémák végett modellezés: szándékos durva eltéréssel végzett nemesítés és helyes paraméterekkel való kivitelezés közti különbségek megfigyelése, vizsgálata, noha az ötvöző tartalom nem indokol nitridálsi rétegjellemző eltérést.

*XXVII. Hőkezelő és
Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia*

Nemesítés „aluledzett” és helyesen edzett szerkezetre

- * Specifikáció: edzés 843-885°C/olaj, 565-704°C megeresztés
- * Választva: edzés 845°C/1ó, megeresztés 450°C azért, hogy a nitridálás hőmérsékletén szándékosan további megeresztés/elhúzóadás történjen.
- * Ismerve a soros szerkezetű alpanyagot, szerkezet homogenizálás végett a helyes nemesítés választva: 890°C/1,5ó, megeresztés 650°C.

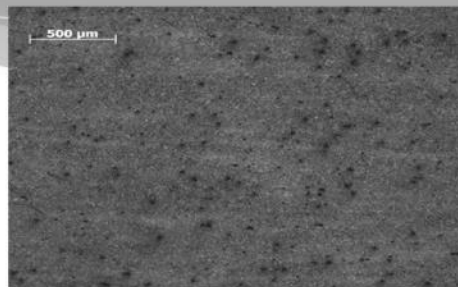
*XXVII. Hőkezelő és Anyagtudomány a
Gépgyártásban Országos Konferencia*

10

Nemesítés „aluledzett” és helyesen edzett szerkezetre

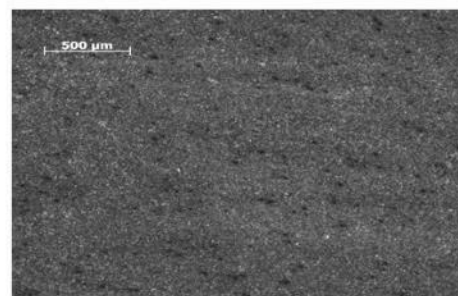
840°C edzés után: 43HRC a kívánatos 50 HRC helyett, kb 80%-os beedződés.

Szövetkép: 840°C edzés és 450°C megeresztés



890°C edzés után: 51 HRC, közel 100% beedződés

Szövetkép: 890°C/olaj + 650°C megeresztés

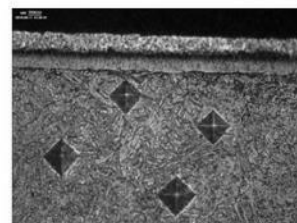
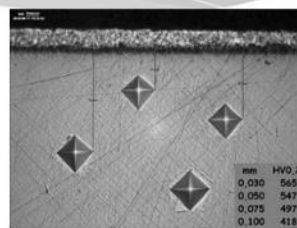


XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia

Nemesítés „aluledzett” és helyesen edzett szerkezetre

„aluledzett” teszt darab: diffúziós réteg rendben, a HRC50 egyenérték rétegmélysége megint nem teljesül.

- * Helyesen edzett szerkezet: a HRC50 egyenérték rétegmélység rendben
- * 3D mérőgépen az elhúzóerők értékelése (síklapúság)
- * Vizuális kontrol: lényeges eltérés a két teszt darab között

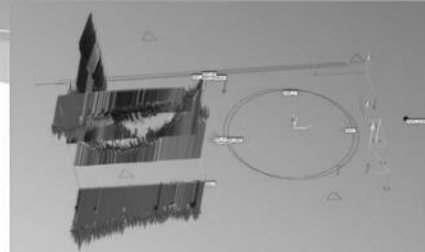


XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia

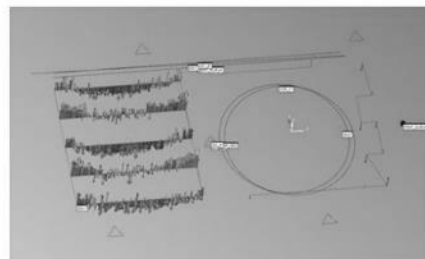
12

Nemesítési modellezések eredményei

Aluledzett tesztdarab: jelentős elhúzóadás, eltérés síkklapúságtól: $18\mu\text{m}$



Helyesen edzett tesztdarab: minimális elhúzóadás, eltérés síkklapúságtól: $2,6\mu\text{m}$



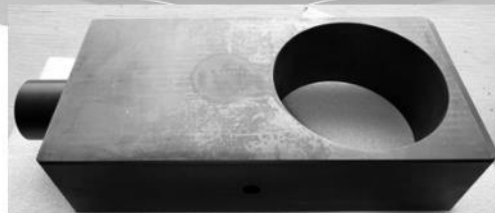
XXVII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia

13

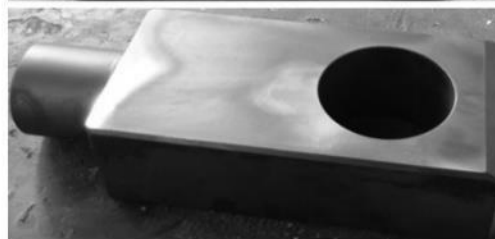
Leppelési teszt, síkklapúság az aluledzett tesztdarabon

Vizsgáltuk a leppelés utáni elhúzóadás eredetű foltot, hogy tudatosan, hibásan kivitelezett nemesítéssel meg tudjuk-e ismételni az ilyen jellegű hibát?

A selejtes darabon látható Leppelési folt



A tesztdarabon előidézett leppelési folt



XXVII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia

14

Hiba analízis

Az anyagösszetétel a megrendelő specifikációjának megfelel, de a C tartalom igen széles tartományt engedélyez, nem egy, de két szabványos acélminőség is beleférhet. Specifikáció, C:0,27-0,43%, P1.:42CrMo4, C%:0,38-0,45

- * A nitridálásra beszállított alkatrész nemesített szerkezete maradék ferrit tartalma alul-edzett szerkezetet és alacsony hőm. megeresztést feltételez
- * Alapanyag: hengerlési inhomogén struktúra
- * Háttér info:megszűnt a gyártónál a hőkezelés, előnemesített acél beszerzés
- * Halmozott anyagszerkezeti-hőkezelési hibák:fesz. csökkentő hőkezelés hiánya.
- * Halmozott anyagszerkezeti hibák: nitridálási réteggkeménység eltérés

Javaslatok

Bejövő áru ellenőrzés: csak a specifikációnak való megfeleltetés nem vezet eredményre:

- * Nemesítés eredményesség ellenőrzés kem. mérésel nem elegendő.
- * Összetétel megfelelőség a nitridálási réteggkem.-re :nem elegendő.
- * Kohászati előnemesített szerkezet kockázata:
elhúzóadás, réteggkeménység eltérés
- * A fesz. csökkentő izzítás alkalmazása eredményes lehet az elhúzóadás csökkentésére, de a réteggkeménység biztosítására nem megoldás
- * Réteggkeménység biztosítása: helyes nemesítési paraméterek-helyes szferoiditos szerkezet. Ennek ellenőrzése: valós mintadarabok biztosítása a nitridálási adagokhoz.

Összegzés

- Gazdasági megfontolású váltás az alapanyagnál, pl. előnemesített anyagok: kockázatok.
- * Feszültségcsökkentő izzítások alkalmazása, hatása a nitridálási elhúzóadásra
- * Nitridálás-metallográfiai háttér megléte
- * Igényes alkatrészeknél rétegspecifikus előírások-összefüggés a mikroszerkezettel
- * Nitridálásnál mintadarabok alkalmazása-helyes adagkövetés- esetleg kohászati adag előfutározása
- * Igényes alkatrész: alkatrész állapotban nemesítés-kerülendő a kohászati előnemesített acél alkalmazása

Vibrációs feszültségmentesítés a T.E.T.T. Mérnökiroda Kft-nél

Vibration stress elimination at T.E.T.T. Mérnökiroda Kft.

Dr. Weltsch Zoltán¹, Pesti István², Végh Tamás³

**VIBRÁCIÓS
FESZÜLTSGMENTESÍTÉS
A T.E.T.T. MÉRNÖKIRODA
KFT-NÉL**

Vibrációs feszültségkezelési eljárások kutatása,
beillesztése a fémipari gyártástechnológiába. Kezelő
berendezés kifejlesztése.

GINOP-2.1.1-15-2016-00813

**Weltsch Zoltán, Pesti István,
Végh Tamás**

T.E.T.T.
Mérnökiroda Kft.

SZÉCHENYI 2020

MAGYARORSZAG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Regionális
Fejlesztési Alap

BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

TARTALOM

- Pályázat
- Belső feszültség problémaköre
- Vibrációs elven működő feszültség csökkentés
- Kísérletterv
- Prototípus bemutatása

GINOP-2.1.1-15-2016-00813

T.E.T.T.
Mérnökiroda Kft.

¹ Neumann János Egyetem

² P-INVENT Kft.

³ T.E.T.T. Mérnökiroda Kft.

TETT MÉRNÖKIRODA KFT BEMUTATÁSA

- 1996-ban alapult
- Fő profil a gépipari gyártás

Cég szlogenje

- ...amit nem ismerünk, felkutatjuk
- ...amit nem tudunk, megtanuljuk
- ...ami nem létezik, kitaláljuk.



- Fő termékcsoport nagy átmérőjű öntött tárcsák megmunkálása

GINOP-2.1.1-15-2016-00813 **TETT**
Mérnökiroda Kft.

NEHÉZSÉG A GYÁRTÁS KÖZBEN

- Technológiai sorrend
 - Nyers öntény tisztítás
 - Nagyolás
 - Simítás
- Vetemedés a nagyolás és a simítás során
- Fogácsoló szakmunkás megpróbálja kivenni a vetemedést
- Készre munkált darab tovább vetemedik
- Drága munkadarab selejtes lesz, hosszú forgácsolási idő vész kárba

GINOP-2.1.1-15-2016-00813 **TETT**
Mérnökiroda Kft.

PÁLYÁZAT TARTALMA

Cél

A projekt célja egy olyan feszültségmentesítő kezelőhely létrehozása, amely lehetőséget teremt a forgácsoló szakemberek számára olyan technológiák alkalmazására, amelyek ma a belső feszültségek miatt nem alkalmazhatóak.

Feladatok

- Irodalomkutatás
- Műszaki célparaméterek
- Szabadalomkutatás
- Kísérlettervezés
- Kísérleti gyártás
- Prototípus gyártás és tesztelés
- Termék véglegesítés

GINOP-2.1.1-15-2016-00813

TETT
Mérnökiroda Kft.

FESZÜLTÉG A MUNKADARABOKAN

Honnan ered a feszültség:

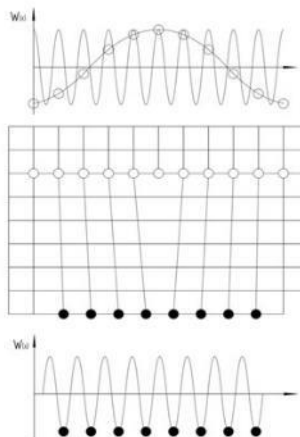
- Öntés
- Hőkezelés
- Hegesztés
- Megmunkálás

Feszültség alakváltozás kapcsolata

Meghatározása:

- Röntgendiffrakcióval
- Alakváltozással

Probléma a vetemedés → selejtes munkadarabok



GINOP-2.1.1-15-2016-00813

TETT
Mérnökiroda Kft.

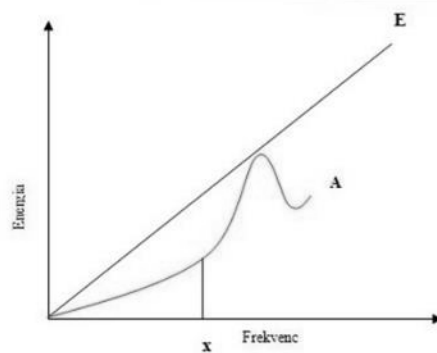
FESZÜLTÉG CSÖKKENTŐ MÓDSZEREK

Pihentetés
Technológia változtatással
Hőkezelés
Vibrációs elven működő

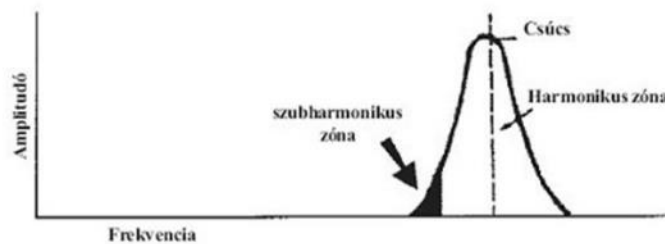
TETT

GINOP-2.1.1-15-2016-00813 Mérnökiroda Kft.

VIBRÁCIÓS FESZÜLTÉGMENTESÍTÉS



Betáplált energia elnyelődik,
ezzel a belső energia változik



Forrás: Auria M Kft

TETT

GINOP-2.1.1-15-2016-00813 Mérnökiroda Kft.

HOGYAN MŰKÖDIKA VIBRÁCIÓS FESZÜLTÉG MENTESÍTÉS

Rezgésgenerátor
Dagnosztikai egység
Munkaasztal

Sajátfrekvencia görbe eltolódik

Probléma:

Kezelési idő nem egyértelműsítető

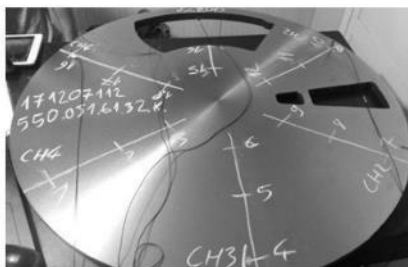
Csak nagy darabok kezelhetőek

Diagnosztika nem szolgáltat értékelhető eredményt

TETT
GINOP-2.1.1-15-2016-00813 Mérnökiroda Kft.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

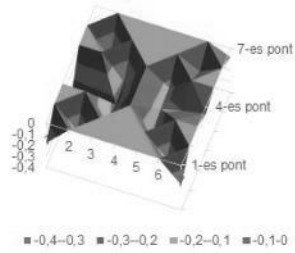
Kísérlettev: forgácsolási paraméterek és rázatások változtatásával hogyan változik a deformáció az anyagban



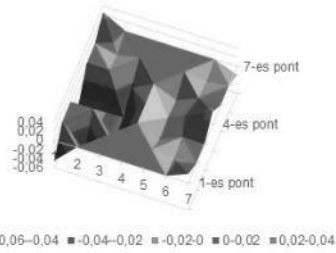
TETT
GINOP-2.1.1-15-2016-00813 Mérnökiroda Kft.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

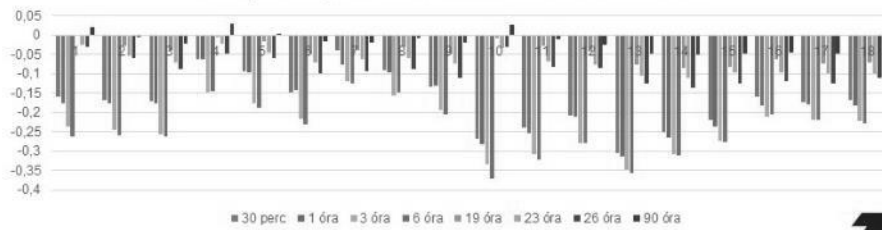
1 óra után deformáció



90 óra után deformáció



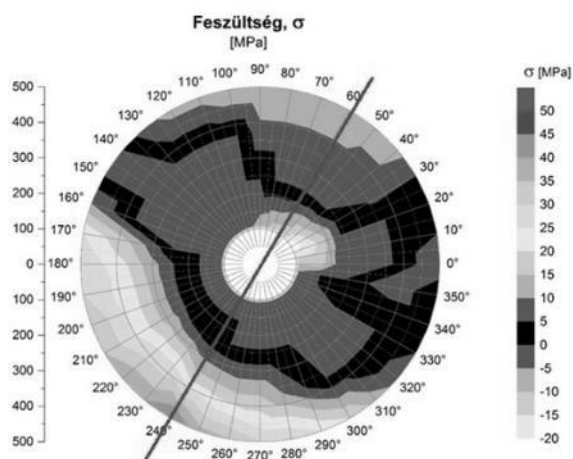
A 18 pont állapotai fél óra-1-3-6-19-23-26-90 óra múlva



TETT

GINOP-2.1.1-15-2016-00813 Mérnökiroda Kft.

FESZÜLTSGOPTIKAI VIZSGÁLAT



TETT

GINOP-2.1.1-15-2016-00813 Mérnökiroda Kft.

KIDOLGOZOTT ELJÁRÁS

Technológiai sorrend változott

Nagyolás

Vibrációs feszültség mentesítés

Simítás



GINOP-2.1.1-15-2016-00813

TETT
Mérnökiroda Kft.

PROJEKT ÚJDONSÁGTARTALMA

Munkaasztal kifejlesztése

Diagnosztikai egység fejlesztése

Rezgésgenerátor kifejlesztése

**Olcsóbb és nagy zaj mellett is megbízható
módszer**

Kezelési eljárás kidolgozása

GINOP-2.1.1-15-2016-00813

TETT
Mérnökiroda Kft.

AZ ELJÁRÁS ALKALMAZÁSA MÁS ESETEK BEN

Nem csak nagy méretű daraboknál lehet sikeresen alkalmazni feszültség mentesítésre

- Öntési eljárások
- Hegesztési eljárások
- Forgácsolási és egyéb technológiai eljárások
- Stb.

GINOP-2.1.1-15-2016-00813 
Mérnökiroda Kft.

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

SZÉCHENYI  2020



Európai Unió
Európai Regionális
Fejlesztési Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

PLATIT AG testreszabott bevonatolási rendszerei

Customized coating systems of PLATIT AG

id. Rábel György¹, ifj. Rábel György¹



¹ PannonPLATIT Kft.

A PLATIT és tízparancsolata

A bevonatolás terén szerzett 60 éves tapasztalatunkra támaszkodva vállaljuk kulcsrakész bevonatoló rendszerek tervezését, gyártását és telepítését.

A PLATIT szolgáltatóközpontja a svájci Selzachban (SO)
Operatív központ, projekttervezés, K+F, tesztközpont,
logisztika és marketing

PLATIT AG

Eichholzstrasse 9
CH-2545 Selzach / SO
Svájc

Telefon: +41 (32) 544 62 00
Fax: +41 (32) 544 62 20
E-Mail: info@platit.com
Web: www.platit.com

The Spirit of a Family



PLATIT Riaz / FR, Svájc
Speciális igények szerint gyártott egyedi gépek

A PLATIT a.s. épülete a csehországi Sumperskben
A sorozat szabványos gépei

A PLATIT tízparancsolata

Alapkompetencia: High-tech PVD bevonatológépek és bevonatok fejlesztése és gyártása

- 1. Függetlenség a nagyvállalatoktól**
Fő marketing cél:
kis és középvállalkozások
- 2. Svájci központ**
Hagyományok, imázs, pénzügy és adórendszer, infrastruktúra
- 3. Világszerte elosztott intelligencia**
Együttműködés intézetekkel szállítókkal, vevőkkel

4. Kiegyensúlyozott piaci jelenlét

Több mint 500 alkalmazás
38 országban

5. Lapos, karcsú cégstruktúra

Nincs hierarchia, fókuszban a fejlesztés, nem a logisztika

6. Csapatszellem

Innováció és teljesítmény számít, nem a származás

7. Kék Óceán Stratégia

Termékek és piacok előtt verseny nélkül
• min. 1 új bevonat évente
• új berendezés két évente

8. Win-Win a vevőkkel

Ár és teljesítmény aránya dönt a versenyképességről

9. Nincs bérbevonatolás

Elkerüljük a versenyt PLATIT vevőivel

10. Kulcsrakész rendszerek

Integrálás a gyártásba

Egyedi bevonatoló berendezések speciális alkalmazásokhoz

Az elmúlt két évtized során a PLATIT sikeresen kialakította globális ügyfélhálózatát azokból a vevőkből, akik a céget keresték fel speciális igényeikkel. A különleges elvárások növekedése miatt a PLATIT úgy döntött, hogy a svájci Riazban működő csoportjával speciális gépek tervezésére és gyártására szakosodik.

A mérnökök és technológusok fő szakterületei:

- koncepciófejlesztés
- szaktanácsadás
- gépészeti és villamos tervezés
- ügyfélspecifikus programozás
- gyártás svájci vállalatok helyi hálózatának igénybe vételével
- gyári átvételi teszt és üzembe helyezés az ügyfél telephelyén
- gép- és folyamatátmozgatás, pótalkatrészek

A következő iparágak számára terveztünk és fejlesztettünk rendszereket:

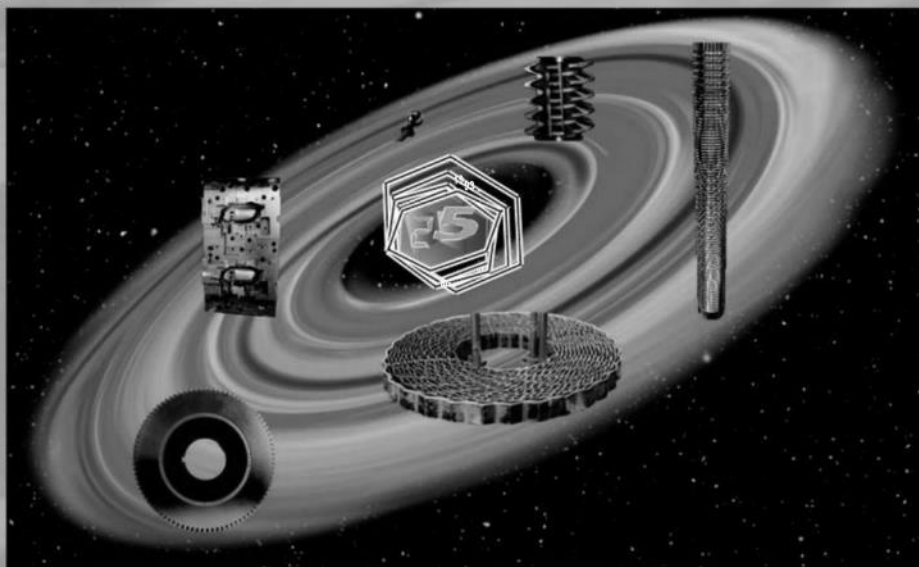
- | | |
|------------------|---|
| Forgácsoló | |
| • szerszámok: | nagy méretű forgácsolószerszámok (p. üregetlőtűskék, fűrészszalagok) gyártása |
| • Repülőgépipar: | kopás-, erózió-, és karcálló kemény bevonatok |
| Műanyag | |
| • fröccsöntés: | extrasima bevonatok minimális kenési igényű, szűk tűrésű mozgó elemek |
| • Orvostudomány: | korroszióvédelméhez, karcállóságához és kenőfilm kialakításához |

Bevezetett és alkalmazott technológiák:

- ARC –DC és pulzáló üzemmódban
- Katódporlasztás – DC, pulzáló és HiPIMS (nagy teljesítményű pulzáló magnetron porlasztás) üzemmódban, és
- PECVD (plazmával segített kémiai gőzbevonatolás) üzemmód

Speciális gépi kialakítást, tartó, mozgó és bevonatot igénylő, összetett rendszerek:

- gépészeti és orvosi alkatrészek
- fűrészszalagok
- fűrészlapok és
- üregetlőtűskék



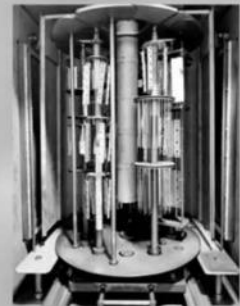
PL¹⁰¹¹ szerszámokhoz és gépalkatrészekhez

PL¹⁰¹¹-DUO Compact

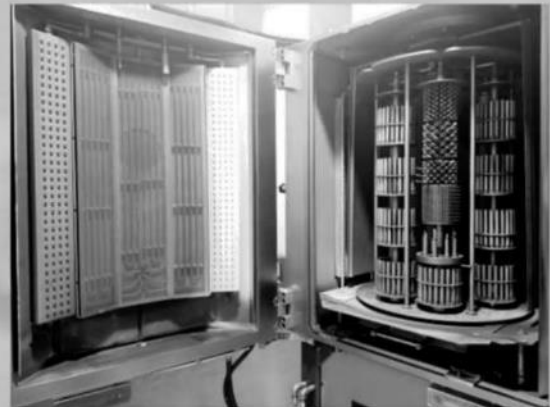
- A PLATIT síkkatódos ARC technológiáján alapul
- Bevonatképzés HSS és WC anyagokon (T £500°C)

Berendezés

- Hasznos plazmatérfogat: Ø575 x H700 mm
- 2 PLATIT katód gyorscserélő rendszerrel.
Teljesen kompatibilis a PL1011 COMPACT katódokkal.
- A PL1011 COMPACT költségkímélőbb változata



PL¹⁰¹¹-Hybrid szerszámok és gépalkatrészek bevonatolására



Forrás: Fullandi, Shenzen, Kína

Alkatrészek bevonatoló gépe

A gép- és autópárban sok mozgó alkatrész nem igényel különösen kemény bevonatot.

A legfontosabb követelmények:

- Rendkívül finom felület
- Nagyon alacsony súrlódási együttható

A PL1011- Hybrid optimális használata:

- A pulzáló HIPIMS szórással nagyon vékony, kitűnő simaságú CrN tapadóréteg (~200 nm) hozható létre.
- A tapadóréteg felvitele után a katódokat takaró ajtót bezárják, és
- egy réteg DLC (gyémántszerű) bevonatot alakítanak PECVD eljárással.
- Egy rendkívül sima DLC ($S_a < 20 \mu\text{m}$) réteg jön létre, ahogy a szilíciummal adalékolt amorf karbon a hidrogénnel egyesül; a- C:H:Si.

A PVD és DLC bevonatok kombinációja kitűnő tapadást, kiemelkedően sima felületet és jó keménységet biztosít.

Az eljárás főbb alkalmazási területei:

- csúcsminőségű gépalkatrészek,
- orvosi eszközök,
- repülőgép-alkatrészek,
- kompozit anyagokhoz alkalmazott, élsisakképződésre hajlamos forgácsoló szerszámok
- bélyegek, matricák és mintázóhengerek

Egyedi berendezések fűrészlapokhoz



PL2001 fűrészlapokhoz

- Rendkívül nagy kapacitású keménybevonatoló berendezés nagy szármokhoz és felületekhez
- A PLATIT sikkatódos ARC technológiáján alapul
- Bevonatképzés HSS és WC anyagokon (T 500°C)

Berendezés

- Helyigény: 3880 (szé) x 2350 (mé) x 2220 (ma) mm
- Belső kamraméret: 1700 (szé) x 1700 (mé) x 1100 (ma) mm
- Bevonatolható térfogat: max. Ø1200 x 700 (ma) mm
- Max. szubsztrátum terhelés: 800 kg
- 4 PLATIT katód gyorscserélő rendszerrel

Teljesen kompatibilis a PL1001 COMPACT katódokkal

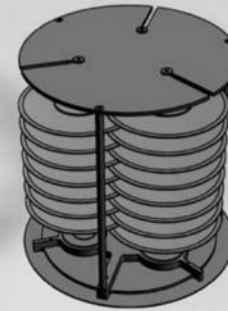
- Elektromos csatlakozás: 3x400 V, 50-60 Hz, 110 kVA
- Moduláris karusszelrendszer 1, 2, 3, 4, 6, 8 állomással



Egyszeres töltés



Töltés átlapolással



Töltési kapacitások

Fűrész- méret [mm]	Fűrész- méret ["]	penge- vastagság	térköz	PL2001			PL2011		
				állomások száma	állomások száma	állomások száma	töltésen- kénti lapok száma	töltésen- kénti lapok száma	töltésen- kénti lapok száma
100	3.94	1.5	7	10	12	24	518	988	1976
120	4.72	1.5	7	8	12	20	414	988	1647
160	6.30	1.5	7	6	8	14	311	659	1153
200	7.87	2	10	4	4	10	147	233	583
225	8.86	2	10	3	4	8	110	233	467
250	9.84	2	10	2	4	8	73	233	467
275	10.83	2	10	1	4	6	37	233	350
300	11.81	2	10	1	3	6	37	175	350
315	12.40	2	10	1	3	6	37	175	350
325	12.80	2	10	1	3	5	37	175	292
350	13.78	2.2	10	1	2	5	36	115	287
360	14.17	2.2	10	1	2	5	36	115	287
400	15.75	2.2	10	1	1	4	36	57	230
450	17.72	2.2	10	1	1	3	36	57	172
500	19.69	2.2	10	1	1	1	36	57	57
550	21.65	3	14	0	1	1	0	41	41
560	22.05	3	14	0	1	1	0	41	41
620	24.41	3	14	0	1	1	0	41	41
830	32.68	3.5	16	0	0	1	0	0	36
965	37.99	4	19	0	0	1	0	0	30
1066	41.97	4	19	0	0	1	0	0	30

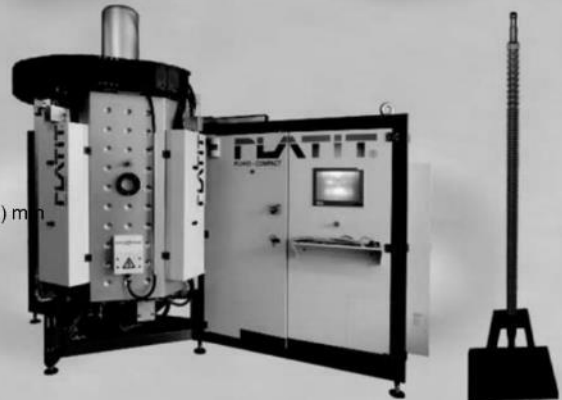
Egyedi berendezések üregelőtűskékhez

PL1401-HUT üregelőtűskékhez

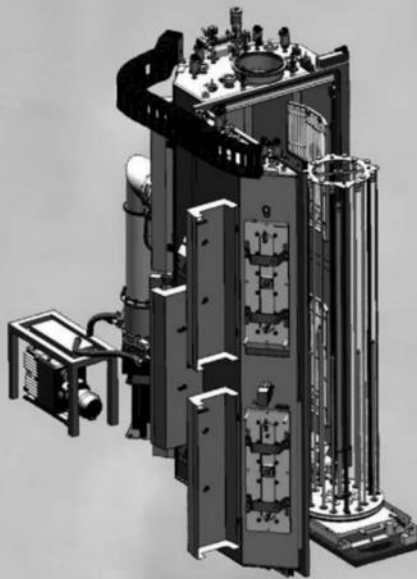
- A PLATIT síkkatódos ARC technológiáján alapul
- Az üregelőtűske első felének bevonatolása után a tűskét meg kell fordítani, hogy egy második adagban megtörténjen a tűske másik felének bevonatolása.

Berendezés

- Bevonatolható térfogat: $\varnothing 700 \times 700$ (ma) mm + $\varnothing 150 \times 700$ (ma) mm
 - Üregelőtűske max. hosszúsága: 2000 mm
 - Üregelőtűskék max. bevonatolható hosszúsága: 2×700 mm
 - Max. szubsztrátumterhelés: 400 kg
 - 4 PLATIT katód gyorscserélő rendszerrel
- Teljesen kompatibilis a PL1001 COMPACT katódokkal
- Moduláris karusszelrendszer 1, 2, 3, 4, 6, 8 állomással



Forrás: Metallestaki, Bilbao, ES



PL2511 extra hosszú üregelőtűskékhez

- A PLATIT síkkatódos ARC technológiáján alapul
- Az extra hosszú üregelőtűskék 1 adagban bevonatolhatók.

Berendezés

- Bevonatolható térfogat: $\varnothing 700 \times 700 - 2000$ mm
 - üregelőtűske max. hosszúsága: 2500 mm
 - Max. szubsztrátumterhelés: 600 kg
 - 6 PLATIT katód gyorscserélő rendszerrel,
- Teljesen kompatibilis a PL1001 kompakt katódokkal.
- Moduláris karusszelrendszer 1, 2, 4, 6, 8 állomással
 - A bevonatoló berendezést és az adagolórendszert speciális gépalapra kell elhelyezni.

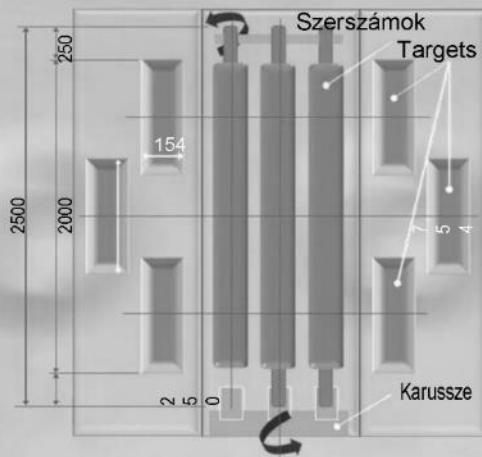
Egyedi egykamrás tisztítórendszer üregelőtűskékhez

- Üregelőtűske max. hosszúsága: 2'500 mm
- Üregelőtűske max. tömege: 600 kg
- Ciklusidő < 1 óra

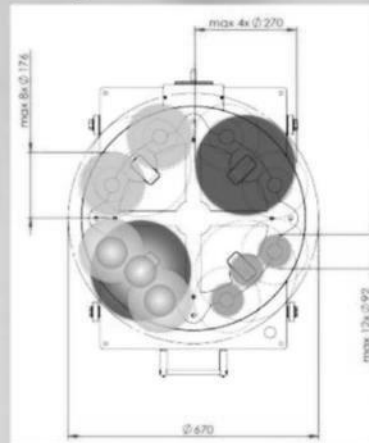


PL 2511 katódok, targetek és karusszelek

Katódelrendezés



- Bevonatolási tartomány: 2000 mm, kitűnő vastagságeloszlással a teljes magasságon: $\pm 10\%$
- $\varnothing 700$ és $H = 2500$ mm maximális szerszámméret
- 600 kg-os max. terhelés; igény esetén nagyobb teherbírás
- Átgondolt kialakítású karusszel, 1-szeres, 2-szeres és 3-szoros forgatással egy platformon
- Üregelőűskék, sajtolóbélyegek és bármilyen egyéb, száras szerszámok, sőt, akár öntőformák és bélyeg alkatrészek is behelyezhetők



Karusszelek

- Átgondolt és rugalmas kialakítás
- 4 állomás - max. 4x $\varnothing 270$ mm
- 8 állomás - max. 8x $\varnothing 176$ mm
- 12 állomás - max. 12x $\varnothing 92$ mm
- Maximális rugalmasság az egyedi darabok elhelyezéséhez és vegyes elhelyezés megvalósításához

Adagolóasztal

Üregelőűskék hosszúsága [r]				Karusszelkonfiguráció
	0 - 600	601 - 1100	1100 - 2500	
db/tányér x db/orsó x orsók száma				
\varnothing Hengeres üregelőűskék [mm]				
$0 < \varnothing < 30$	96 8 x 3 x 4	64 8 x 2 x 4	32 8 x 1 x 4	Standard 4 orsó, 8 fészkes lapok
$30 < \varnothing < 50$	48 4 x 3 x 4	32 4 x 2 x 4	16 4 x 1 x 4	Standard 4 orsó, 4 fészkes lapok
$50 < \varnothing < 80$	36 1 x 3 x 12	24 1 x 2 x 12	12 1 x 1 x 12	12 orsós karusszel, lapok nélkül
$80 < \varnothing < 100$	24 1 x 3 x 8	16 1 x 2 x 8	8 1 x 1 x 8	8 orsós karusszel, lapok nélkül
$100 < \varnothing < 250$	12 3 x 4	8 2 x 4	4 1 x 4	4 orsós karusszel, lapok nélkül
Négyzetes üregelőűskék [mm]				
20 x 50	120 10 x 3 x 4	80 10 x 2 x 4	40 10 x 1 x 4	4 orsós karusszel, sík lapokkal
30 x 30	96 8 x 3 x 4	64 8 x 2 x 4	32 8 x 1 x 4	4 orsós karusszel, sík lapokkal
40 x 60	72 6 x 3 x 4	48 6 x 2 x 4	24 6 x 1 x 4	4 orsós karusszel, sík lapokkal
50 x 100	36 3 x 3 x 4	24 3 x 2 x 4	12 3 x 1 x 4	4 orsós karusszel, sík lapokkal
60 x 200	24 2 x 3 x 4	16 2 x 2 x 4	8 2 x 4	4 orsós karusszel, sík lapokkal

π^{211}

kemény DLC³ bevonatokhoz

Általános információk

- Egyedi bevonató berendezés kemény DLC³ (ta-C) bevonatokhoz
- A PLATIT LARC[®] (oldalsó forgókatódos) technológiáján alapul
- Bevonatolási hőmérséklet: 50 °C – 500 °C

π sCOAT[®]

- π smoothCOATING: közvetlen ARC szűrés

DLC³ bevonatok

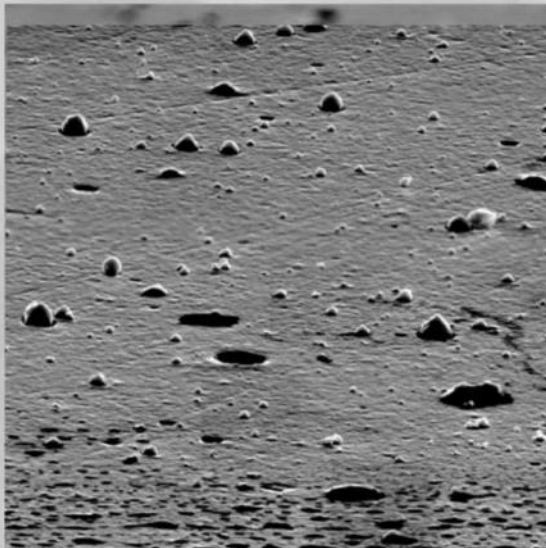
- Standard bevonatok: Vlc^{3®}, cVlc^{3®}, CROMVlc^{3®}
- Akár 70 GPa keménység
- Jellemző vastagság: ~ 1 μ m
- Konfigurációk kemény nitridbevonatokhoz és DLC²-höz

Ciklusidők

Bevonatolási hőmérséklettől függően 3 - 8 óra

Berendezés, lásd: π^{211} PLUS

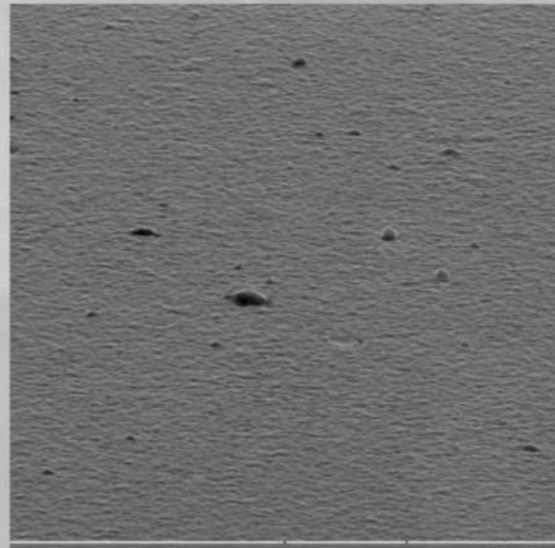
Felületi érdesség összehasonlítása: ARC <-> π sCOAT[®]



SEM MAG: 5.00 kx Det: SE Detector
SEM HV: 20.00 kV Date(m/d/y): 07/31/13 10 μ m VEGA II TESCAN
Vac: HVac Device: VEGA II LMH

Felület szűrés nélkül

CrN=0,9 μ m - Sa(AFM)=0,025 μ m - Sz=0,92 μ m



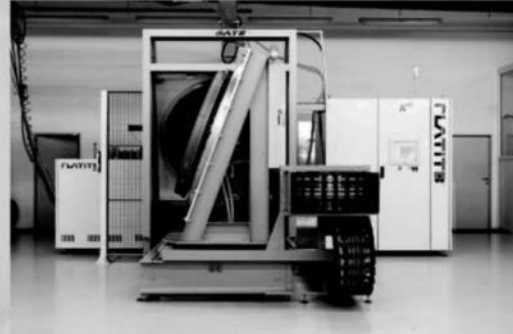
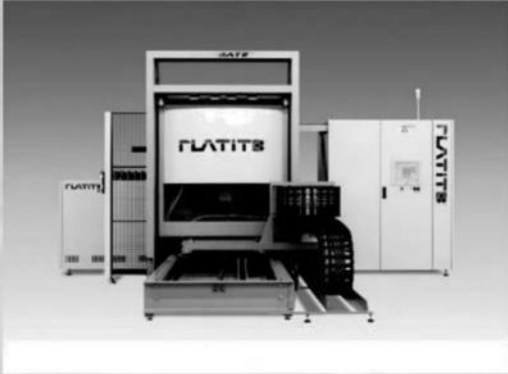
SEM MAG: 5.00 kx Det: SE Detector
SEM HV: 20.00 kV Date(m/d/y): 08/01/13 10 μ m VEGA II TESCAN
Vac: HVac Device: VEGA II LMH

Felület szűréssel

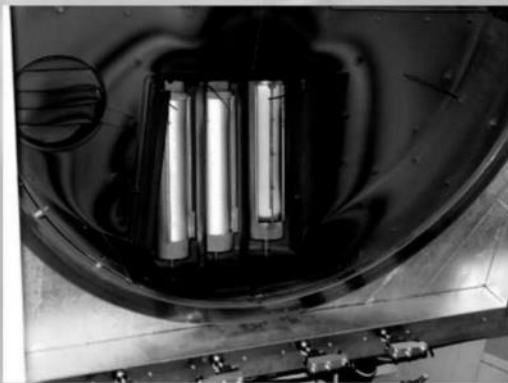
CrN=0,6 μ m - Sa(AFM)=0,019 μ m - Sz(AFM)=0,61

8
 μ m

π 603 fűrészlapok bevonatolásához



Maximum 200 mm magas fűrészlap bevonatolása lehetséges. A szerszámtartó asztal az állandó vastagság-eloszlás érdekében döntött helyzetű.



Három forgókatód a rugalmas bevonatoláshoz



Akár 1,4 méter átmérőjű fűrészlap-tekercek bevonatolása lehetséges. A fűrész bevonatképzés egy sík target segítségével történik.

Kifejezetten fűrészlaphoz való bevonatok kifejleszté

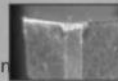
bev. nélk.
1,8 m²-en



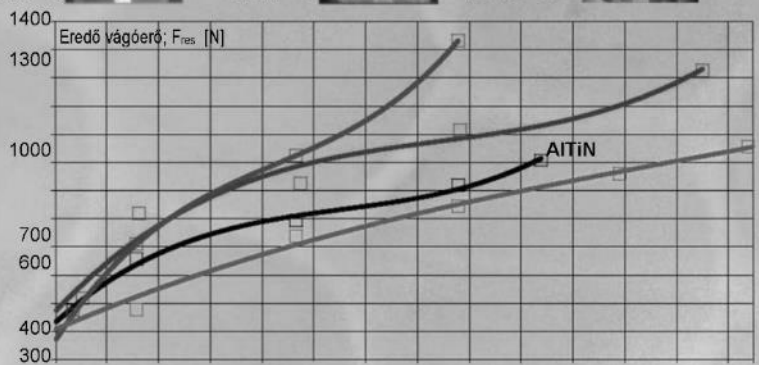
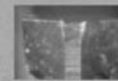
AlTiN
2,12 m²-en



TiAlCN
2,8 m²-en



nAlCo
4,04 m²-en



0.23 0.46 0.68 0.91 1.14 1.37 1.59 1.82 2.05 2.28 2.51 2.73 2.96

Kulcsrakész megoldások

PL1011



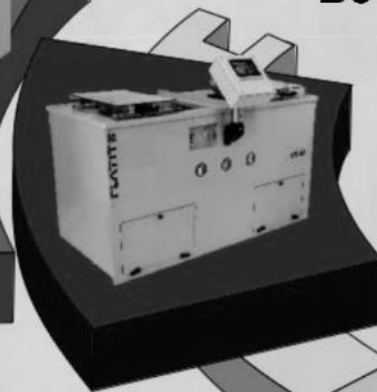
Bevonatolás

π1511



Bevonat eltávolítás

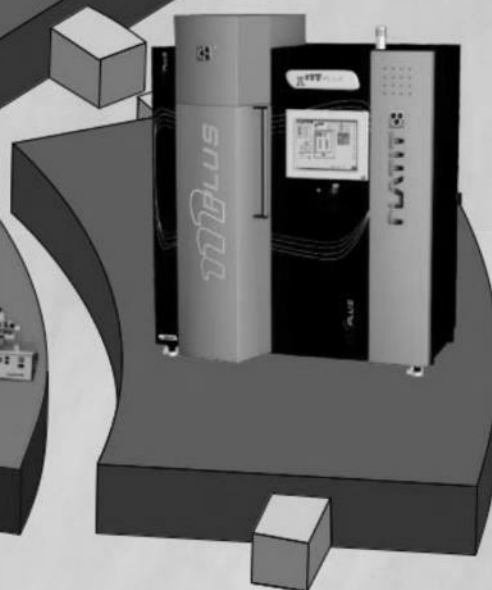
Tisztítás



π 41PLUS

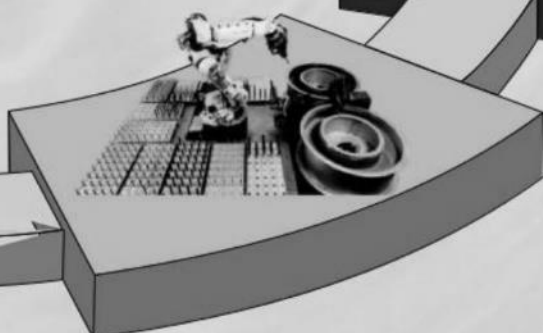
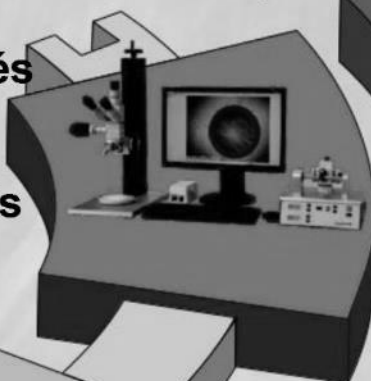


π 11PLUS



Minőségellenőrzés

Elő- és utókezelés



Service Centers

PLATIT®

Advanced Coating Systems

SWISS QUALITY

www.platit.com



PLATIT AG
Advanced Coating Systems
Eichholz St. 9
CH-2545 Selzach / SO
Switzerland
Phone: +41 (32) 544 62 00
E-Mail: info@platit.com

PLATIT a.s.
Advanced Coating Systems
Prumyslova 3
CZ-78701 Sumperk
Phone: +420 (583) 241 588
E-Mail: platit@platit.eu

PLATIT Inc.
Advanced Coating Systems
1840 Industrial Drive, Suite 220
Libertyville, IL 60048-9466
Phone: +1 (847) 680-5270
E-Mail: usa@platit.com

PLATIT Advanced Coating Systems
No. 161 Rijing Road, Waigaoqiao FTZ,
Pudong, Shanghai, 200131 China
Phone: +86-21-58673976
E-Mail: shanghai@platit.com

SWITZERLAND
PLATIT AG
Production Riaz
Rue de l'industrie 11
CH-1632 Riaz
Phone: +41 (26) 919 50 11
E-Mail: riaz@platit.com

SCANDINAVIA
PLATIT Scandinavia ApS
Universitetsparken 7 / PO Box 30
DK-4000 Roskilde
Phone: +45 46 74 02 38
E-Mail: scandinavia@platit.com

SOUTH KOREA
PLATIT Support Center
2F Geumyoung B/D 36, 501 Beon-Gil
Younglong-Ro Suwon-city Gyeonggi-do
South Korea 443-809
Phone: +82 (31) 447 4395-6
E-Mail: korea@platit.com



© 2018 PLATIT AG. All rights reserved. Specifications subject to change. All ® signed trademarks are registered by the

protected by international patents. DMEv1

Esztétikai célú PVD bevonatolás

PVD coating for aesthetic purposes

Fazekas Péter¹

PVD bevonatok esztétikai alkalmazásai
lehetőségei



Előadás kivonat

FAZEKAS PÉTER
okl. vegyész mérnök
QA MANAGER
TS MAGYARORSZÁG KFT.

Balatonfüred 2018. október.3-4-5. 1

PVD bevonatok felépítése, kémiai fizikai tulajdonságai (1 percben)



PEMS (magnetron porlasztásos) PVD bevonat



ARC (ív leválasztásos) PVD bevonat

- ☐ Egy nagyon kemény 1200HV - 8000HV (bevonat típusától függően)
- ☐ Nagyon vékony 1-10µm vastag (technológiától függően)
- ☐ Rendkívül ellenálló (kopásnak, súrlódásnak, hőnek stb bevonat típustól függően)
- ☐ Szép színes réteg (bevonat típusa és a felület érdessége)

Balatonfüred 2018. október.3-4-5. 2

¹ TS Magyarország Kft.

PVD bevonat és alkalmazásai, ahogy most ismerjük
 Autóipar, CNC megmunkálás, műanyagipar, stb.
 Ami számít: Keménység, tartósság, rétegvastagság,



*Az ehhez hasonló darabok fedik le ma
 a magyar PVD termelés kb80%-át*

Balatonfüred 2018 október.3-4-5.

3

Certess® esztétikai bevonatolt műanyag alkatrészek

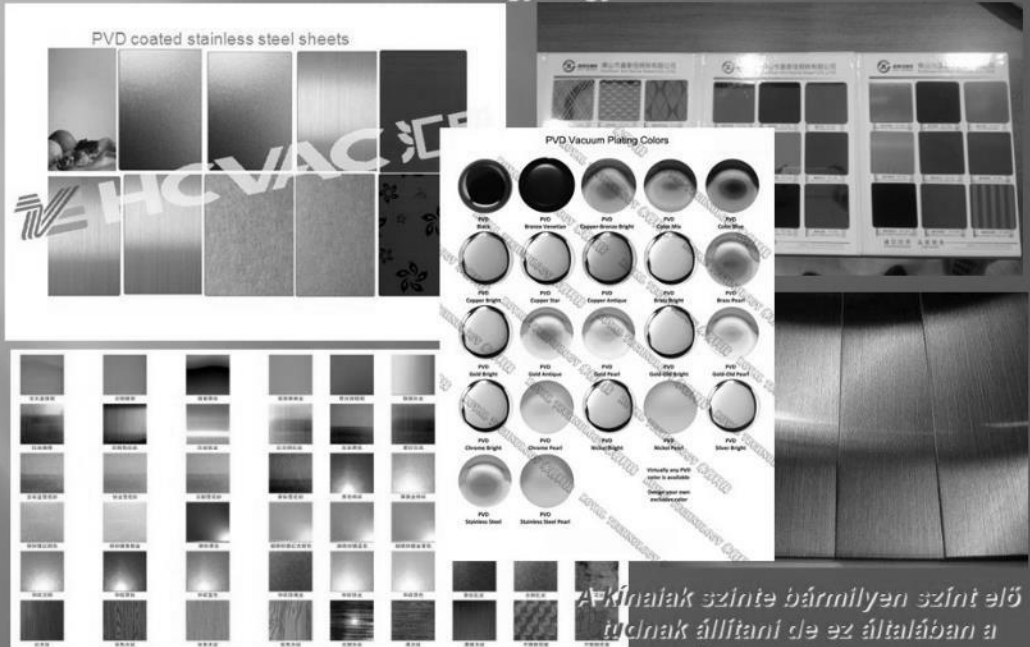


*Egyre nő az igény a műanyagok
 PVD bevonatolása iránt is.*

Balatonfüred 2018 október.3-4-5.

5

PVD bevonat színei Ami számít: Hogy hogyan nézz ki



A kínálat szinte bármilyen színt elő tudnak állítani de ez általában a minőség rovására megy.

Balatonfüred 2018 október.3-4-5.

4

Certess® esztétikai bevonatolt műanyag alkatrészek



Egyre nő az igény a műanyagok PVD bevonatolása iránt is.

Balatonfüred 2018 október.3-4-5.

6

PVD bevonat autóiipari tuning alkatrészeken



PVD CHROME WHEEL COATINGS



Bevonatolás olyan tuning autóiipari alkatrészeken ahol az ára másodlagos.

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

7

DLC, bevonatolt óraiipari alkatrészek



Introducing the *Time and Gems* line of **Black Rolex DLC Watches**

- Ultra-Hard, Military Grade Coating
- Stealth-Black Finish
- Starting at \$6,000



Black Rolex Sea-Dweller DLC



Black Rolex Milgauss DLC



Black Rolex GMT II DLC

Régi felhasználási lehetőség a méregdrága órák PVD bevonatolása.



Balatonfüred, 2010.10.07

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

8

PVD bevonatolt mobiltelefonok



The higher-class models of the Tonino Lamborghini Spyder cell phones – the S-670, the S-680, and the S-685 – were treated to rose gold, gold, and black/gold PVD finishes. The S-600 was given a diamond-like coating, whereas the S-610 and the S-620 were treated to a black PVD finish.

PURE JET RED GOLD
€ 18.800,00

- Quilted Jet Call Leather
- Jet Black PVD Coated Grade 5 Titanium
- Flashed Red-Gold detailing
- Black Ceramic Pillow
- Sapphire Crystal Screen

CONTACT A BOUTIQUE
May we assist you?



Új üzleti lehetőség a bevonat exkluzivitását felhasználó luxus telefonok szegmensébe.

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

9

PVD bevonatolt mobiltelefon alkatrész

Műholdas telefon ára: 1000USD



Van ahol a cél, hogy a bevonat és a körülötte lévő műanyag színe hasonló legyen.

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

10

PVD bevonatolt alumínium kerékpár alkatrészek



Bizonyos esetekben az kifogástalan esztétikum mellett a darabokon a bevonat tartóssága „nyúzhatósága” is rendkívül fontos.

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

11

DLC, TiN, CrN bevonat kerékpáratrészeken (becsúszó szárazon)



Bizonyos esetekben a kifogástalan esztétikum mellett a darabokon a bevonat tartóssága „nyúzhatósága” valamint egyéb például síklási tulajdonságai is rendkívül fontosak.

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

12

DLC sporteszközökön, (golfütőkön)

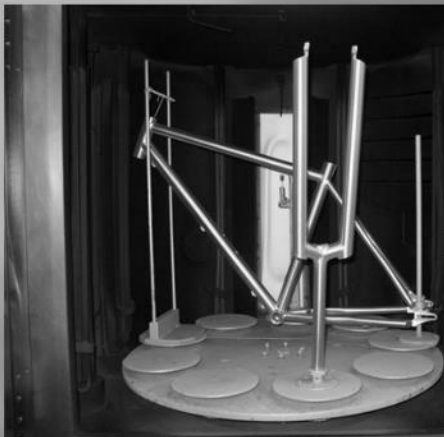


*A Titleist ütő a piacra k darabára:
Jól kommunikálva az esztétikailag is tökéletes bevonatával mintegy
kimagasló hozzáadott értéként jelenik meg a termékekben, amely tovább
emeli jelen esetben a golfütők árát .*

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

13

PVD bevonat kerékpáralkatrészekén



*A Titánból készült kerékpár alkatrészek
marketing szempontból jobban
eladhatóvá válnak ha TiN (titán-nitrid)
vagy CrN (króm-nitrid) bevonattal látjuk
el őket .*



Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

14

PVD bevonatok fegyveripari alkalmazásai

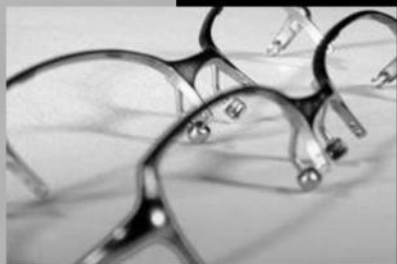
A fegyverek esetében a PVD bevonat funkcionalitása mellett minden fegyver egyéni ízlésre szabható.



Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

15

PVD bevonatolt szemüvegkeretek.



Hatalmas piacot jelenthet a szemüvegkeretek bevonatolása .

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

16

PVD bevonatolt evőeszközök



cutlery	18/10	18/10	18/10	18/10
fork	18/10	18/10	18/10	18/10
knife	18/10	18/10	18/10	18/10
spoon	18/10	18/10	18/10	18/10



Szintén óriási piacot jelenthet az evőeszközök bevonatolása is.

Természetesen a felületkezelés árát a gyártók „vastagon” beépítik az termékek végső árába.

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

17

PVD bevonatolt evőeszközök



Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

18

PVD bevonatolt csaptelepek



VitrA

Csaptelepek ára kb: 500 USD

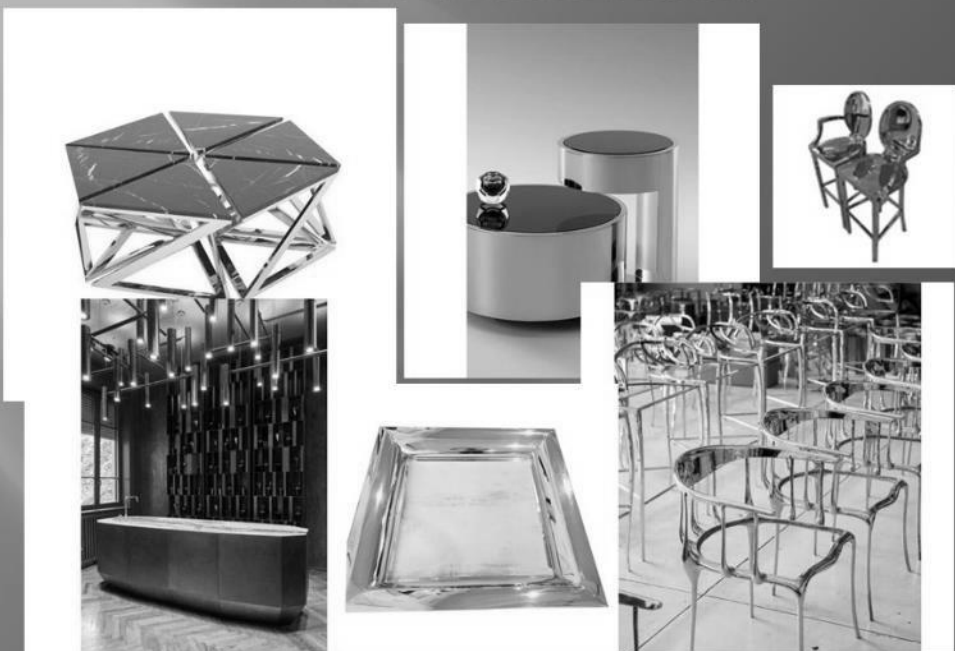


A bevonat színvilágától annak külső megjelenésétől a termékek jól eladhatóvá válnak. Ha a gyártók illetve a forgalmazók a végeredményt ügyesen vezetik be a piacra, hangsúlyozva annak exkluzivitását, akkor a felületkezelés valódi árának többszörösét is beépíthetik a végső fogyasztói árba.

Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

19

PVD bevonatolt bútorok



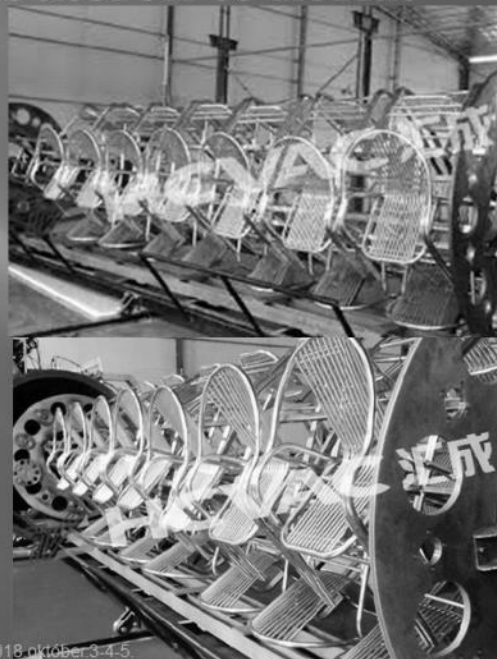
Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

20

PVD bevonatolt bútorok és korlát

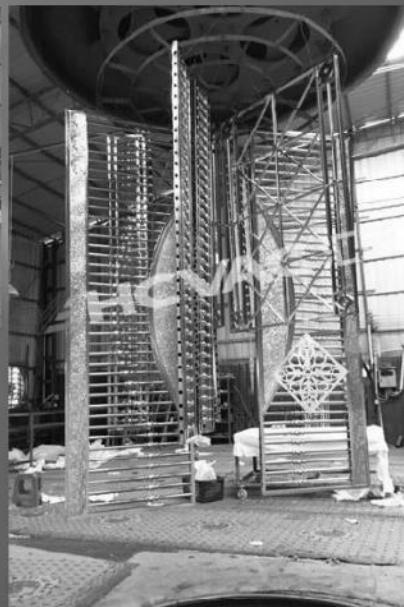


Ha a bevonató gép elég nagy, akkor bizony akár székekkel is tele lehet rakni.



Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

PVD bevonatolt bútorok, bútoralkatrészek



Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

22

PVD bevonatolt épület homlokzati elemek



Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

23

Esztétikai PVD bevonatolható AI és műanyag alkatrészek



Balatonfüred 2018 október 3-4-5.

24



Kína vs EU+USA



Piaci részesedés az esztétikai bevonatolást illetően

- ▣ : 90-95% vs 10-5%
- ▣ Sokkal olcsóbb munkaerő
- ▣ Alacsonyabb rezsiköltségek
- ▣ Olcsóbb nyersanyagárak
- ▣ Speciális magas színvonalú felületet igénylő hozzáadott érték
- ▣ Innováció, R&D

Balatonfüred 2018 október.3-4-5.

25



**KÖSZÖNÖM MEGTISZTELŐ
FIGYELMÜKET!**

TS Magyarország KFT.
1164. Budapest
Csókakő út 35.

FAZEKAS PÉTER
okl. vegyészmérnök
QA manager

Balatonfüred 2018 október.3-4-5.

26

Technológiai újdonságok a metallográfiában

Technological novelties in metallography

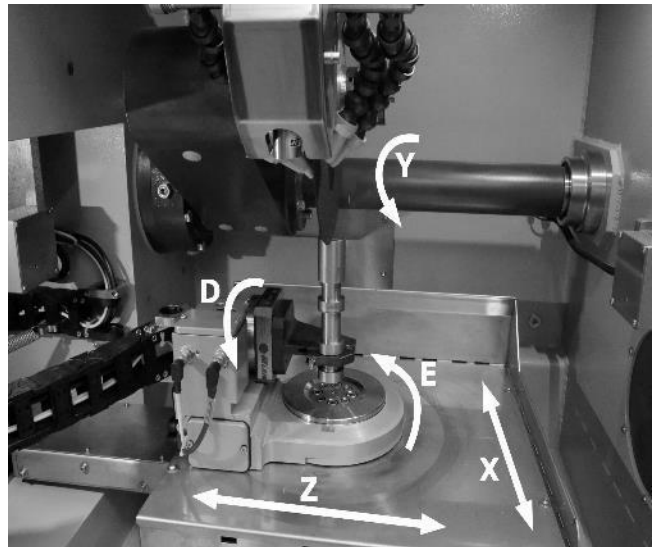
Pálfi Géza¹

Mit ad az új technológia?

- Egyre jobban automatizáltak az időt rabló feladatok ezért gyorsabbak
- A vezérlésük egyszerű mint egy Tablet
- Egyre több adatot tudnak tárolni
- Pótolják a hiányzó dolgozókat
- A régi gépek tapasztalatai és felhasználói igények + innováció beépítésre kerül az újba

Brillant 3D, a vágó robot

- Vágás 5 irányból
- Rögzítés 1 befogóval
- Minimális vágási hiba
- Időt és munkaerőt takarít meg!
- Teljesen automatikus



A Brillant 3D előnyei

- Előre beállított technológia, jó reprodukálhatóság
- Finom beállítás, akár lézeresen 1 um-es pozicionálás.
- Vágás 5 irányból a befogás állítása nélkül!
- Nagyon pontosan beállítható vágási pontok.
- Gyors, időtakarékos.

¹ IGS-Kontakt Kft.

Opal X-press, moduláris beágyazó

Beágyazás akár 4 önálló modullal!

Az Opal X-press előnyei:

- Moduláris, akár 4 önálló egység, bármikor bővíthető, ha bővül a feladat
- Fele akkora helyigényű, mint 4 hagyományos prés
- Gyors beágyazási idő, alacsony teljesítmény igény mellett
- Integrált tisztító kefe
- Illeszthető vákuumos elszíváshoz
- 7"-os vezérlő panelen programozható



A csiszolatkészítés kényes pontjai

- Rabszolga munka
- Időigényes
- Csak a végén látszik, ha rossz az előkészítés

Megoldás: automatikus előkészítés zárt technológiával!



Saphir X-Change, a csiszoló polírozó robot

- 1-20 db mintát is el lehet készíteni egy ciklusidő alatt.
- Programozhatók, különböző metodikák egy gombnyomásra
- Zárt technológia, nem ember függő!
- Automatikusan cseréli a csiszoló felületeket és tisztítja ultrahanggal, alkohollal és levegővel a mintákat.
- Mérhető anyagleválasztás akár 10 µm pontossággal.
- Az automatikus adagolóval akár 30-40% fogyóanyagot takaríthatunk meg!

Saphir Vibro, a vibrációs polírozó

- Speciális végpolírozó
- Elektronmikroszkópon végzett elemzéshez
- Nano mikroszerkezet vizsgálathoz

A Saphir Vibro jellemzői

- A vibrációs frekvencia állítható 60-120 Hz-ig
- A Vibro olyan felület védelemmel van ellátva, mely csökkenti a korróziót vagy a kristályosodást az előkészítés során
- Több mint 200 metodikát lehet eltárolni.
- Alacsony zajszintű működés, felügyelet nélkül lehet hagyni



Összegzés:

- Az újítások a részfeladatok automatizálása felé haladnak
- Cél, hogy független legyen a munkát végző személy ügyességétől
- Gyorsabb, pontosabb
- Jól reprodukálható, stabil
- Az üzemeltetési költsége alacsonyabb
- Pótolják a hiányzó munkaerőt

Nitridáláskor képződő vegyületi réteg mélységének új mérési módszere

New method for measuring the depth of the compound layer formed during nitriding

Szilágyiné Dr. Biró Andrea¹

Abstract

Nitriding of engineering parts enhance the surface performance i.e. hardness, wear resistance, fatigue limit and in each cases corrosion resistance. The nitrided layer can be divided two parts: the white layer and the diffusion zone. The white layer on the surface has the highest nitrogen content, so highest hardness and wear resistance. Conventionally measuring the depth of white layer can be realised on the cross section of the parts/specimens. In industry usually a specimen is placed to the furnace together with the components to give opportunity measure the depth of white layer without causing damage in the components. In this case only one problem stays: preparing the cross section and measuring the depth on microscope needs time, equipment and costs.

Ball cratering measuring method (often called Calotest) is widely used in industry to measure the thickness of coatings. The aim of this paper is to show the application potential this method in measuring the depth of white layer in case of nitrided layer.

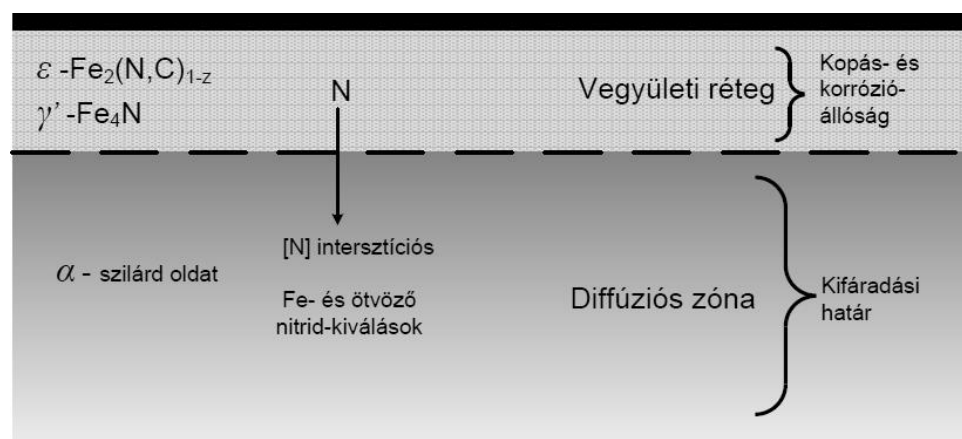
Keywords: nitriding, white layer

1. Bevezetés

1.1. A nitridált réteg és tulajdonságai

A gépipari alkatrészek felületének nagyon sok esetben kitüntetett szerepe van a gépipari alkatrészek élettartamának növelésében. A helyileg fellépő koptató, korróziós igénybevétellel és fáradással szembeni ellenállás növelése nagy mértékben hozzájárul az alkatrészek telje-sítőképességének fokozásához.

A fenti megfontolások alapján egyértelmű, hogy a felülettechnológiák nagy jelentőségűek az ilyen alkatrészek gyártása során. E technológiák között egy nagy csoportot képeznek a felület kémiai összetételét megváltoztató termokémiai kezelések, így a nitridálás is. [1][2]



1. ábra:
A nitridált réteg felépítése [3]

Az eljárás során nitrogén atomok diffundálnak a felületbe, növelve annak keménységét. A nitridált réteg Nital-lal maratott keresztcsiszolat alapján két részre osztható: a nagyobb nitro-géntartalmú vegyületi réteg

¹ Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet

helyezkedik el a felülethez közel, meg alatta a diffúziós zóna található. A vegyületi réteg keménysége jóval nagyobb a diffúziós zóna keménységénél, a képződő nagy nitrogéntartalmú rendezett rácsú szilárd oldatoknak köszönhetően. Így e réteg biztosítani tudja a felület kopásállóságát, egyes esetekben korrózióállóságát. A diffúziós zóna egyrészt alátámasztást biztosít a vegyületi rétegnek, másrészt a jelen lévő diszperz ötvözőnitríd kiválásoknak köszönhetően hozzájárul a fáradási határ növeléséhez. [3] [4]

A vegyületi réteg mélységének mérése a keresztcsiszolat nagy nagyítású optikai elemzése alapján valósítható meg, míg a diffúziós zóna mélységének meghatározása mikrokeménység mérés alapján egy előre megadott keménységi határérték (általában az alapanyagnál 50HV0,1-le nagyobb) alapján történik.

1.2. A plazmanitridálás technológiája

A plazmanitridálás során egy vákuumkemencében a munkadarabokat katódként a kemence falát anódként kapcsolva ($U=500-1000V$) az 1-2 mbar nyomású N_2 és H_2 gázkeverék nitrogén komponensének ionizálódása révén következik be a felület ötvözése.

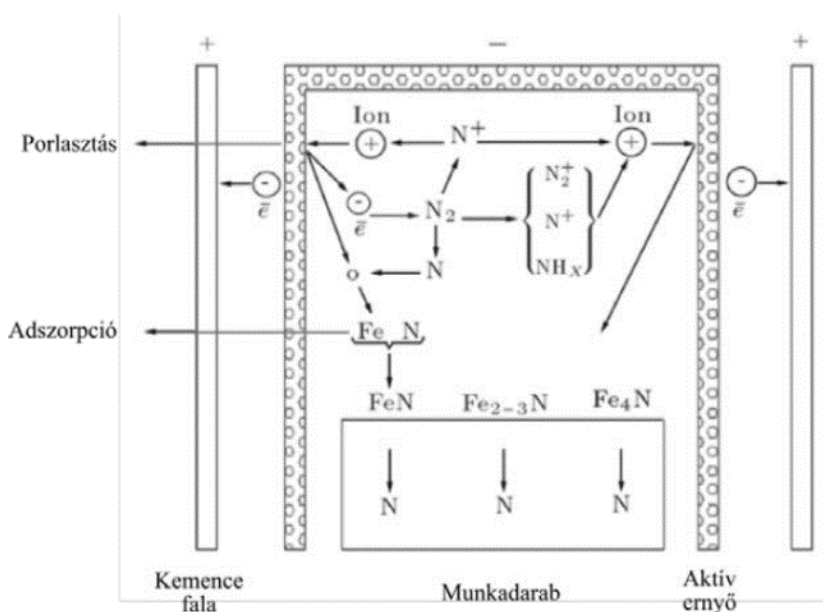
Plazmanitridálás során a gázösszetétel, a feszültség és a nyomás pontos szabályozhatósága miatt a rétegszerkezet is nagyon pontosan szabályozható.

A plazmanitridálás során egyes esetekben nehézségek lépnek fel, úgy mint [1] [5][6]

- élhatás,
- sarokhatás,
- egyenetlen hőmérséklet a kemencén belül,
- üregkátód hatás,
- helyi túlhevülés.

1.3. Az aktív ernyős plazmanitridálás technológiája

Az aktív ernyős plazmanitridálás kifejlesztésének főm mozgatórugója a hagyományos nitridálás során fellépő nehézségek kiküszöbölése volt. E problémák kiváltó oka elsősorban a munkadarabokra közvetlenül kapcsolt feszültség és kisülés. Az aktív ernyős plazmanitridálás során a fő feszültséghez képest kisebb értéket kapcsoltak a darabok, vagy egyes esetekben a nitridálandó darab lebegő (0) potenciálon vannak (2. ábra). A próbatetek köré helyezett aktív ernyőre (általában perforált lemezre) kapcsolják a fő feszültséget, így a kisülés nagy részben itt megy végbe. Az ernyő porlasztódik, és az így keletkező nitridek a munkadarabok felületébe csapódva ötvözik azt.



2. ábra:
Aktív ernyős plazmanitridálás elrendezési vázlatja [7]

2. Az elvégzett mérések leírása

2.1. Nitridálási technológia

A nitridálást a Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében található Nitrión típusú plazmanitridálóval végeztem. A berendezés gyártója: SC. PLASMATERM SA.

Főbb jellemzők:

- hasznos tér \varnothing 450 x 1800 mm
- maximális adag: 200 kg
- kisülés tápfeszültsége: 500-1000 V
- névleges teljesítmény: 15kW

A vegyületi réteg mélységének mérésére mikro-keménységmérést és Calotest berendezést használtam.

Az aktív ernyős plazmanitridálás paraméterei:

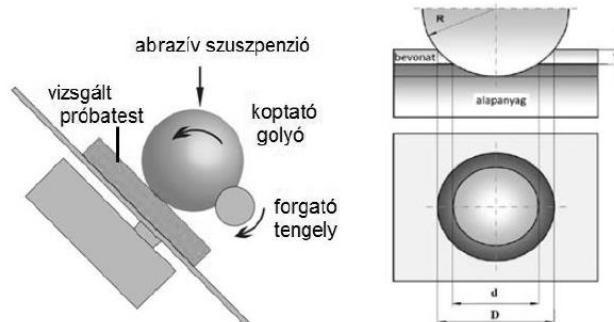
- $t_{ref}=520^{\circ}C$
- $t=8h$
- $p=2$ mbar
- $U_{fő}=600V$, $U_{BIAS}=150V$
- $N:H=1:3$
- ernyő: Rv8-12 perforált acéllemez

A kísérleteket az alábbi szabványos anyagminőségeken végeztem:

- 16MnCr5/ 1.7131
- 42CrMo4/ 1.7225
- 51CrV4/ 1.8159
- X40CrMoV5-1/ 1.2344
- X42Cr13/ 1.2083
- 34CrAlNi7/ 1.8550

2.2. Calotest mérési módszer

A gömbsüveg koptató vizsgálati (más néven Calotest) eljárás alkalmazása széles körben elterjedt bevonatok vastagságának mérése során. A mérés során egy golyó felületen történő megforgatásával gömbsüveg alakú nyomot készítenek a vizsgálni kívánt felületen.



3. ábra:

Calotest a) berendezés (Anton Paar), b) elrendezés és c) mérési elv [8]

Sík felületen a bevonat mélysége az alábbi egyenlet szerint számítható:

$$t = \frac{D^2 - d^2}{8R}$$

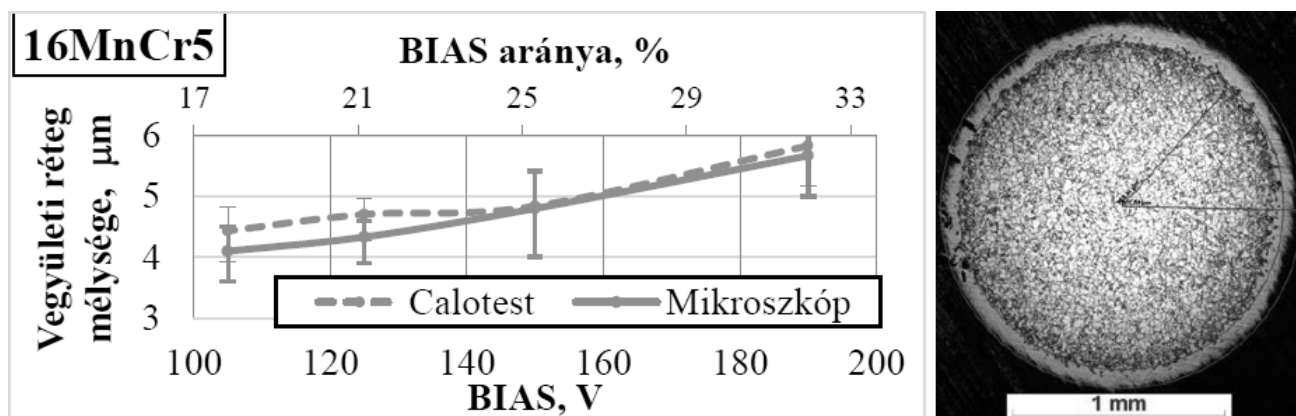
ahol: t: a bevonat vastagsága; D: a nagyobbik kör átmérője; d: a kisebbik kör átmérője; R: a koptatáshoz használt golyó sugara.

A vizsgálatok során e mérési technika alkalmazhatóságát vizsgáltam nitridált rétegek esetében. Az elképzelés alapja, hogy a nitridált réteg vegyületi rétege vizuálisan csak marítás után különíthető el, így a marószert alkalmazása a kikoptott gömbsüveg lenyomaton lehetővé teszi a vegyületi réteg csiszolatkészítés nélküli mérését.

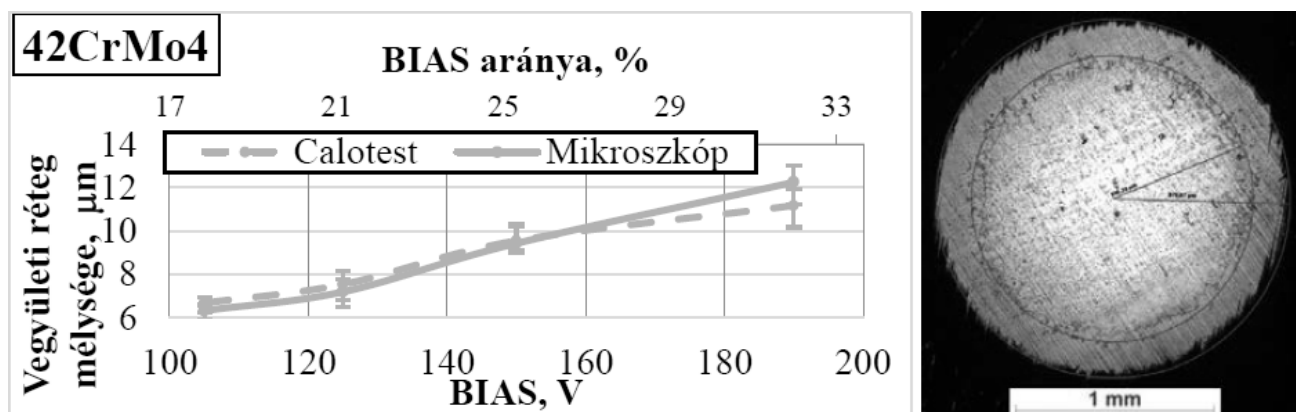
2.3. Eredmények

A mérések során a különböző paraméterű aktív ernyős nitridálás után képződött rétegeken hagyományos módon elvégeztem a nitridált próbatest keresztcsiszolaton történő mikroszkópos vizsgálatát és optikai úton meghatároztam a vegyületi réteg mélységét (3 különböző ponton). Ugyanezen a próbatesten alkalmaztam a Calotest eljárást, majd Nitál marószert. A marószert alkalmazásával a nitridált réteg mérése megfelelő nagyítás után a képződött körgyűrű méreteinek mérésével és a korábban bemutatott egyenlet segítségével megvalósítható.

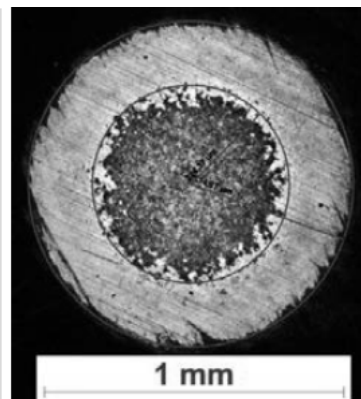
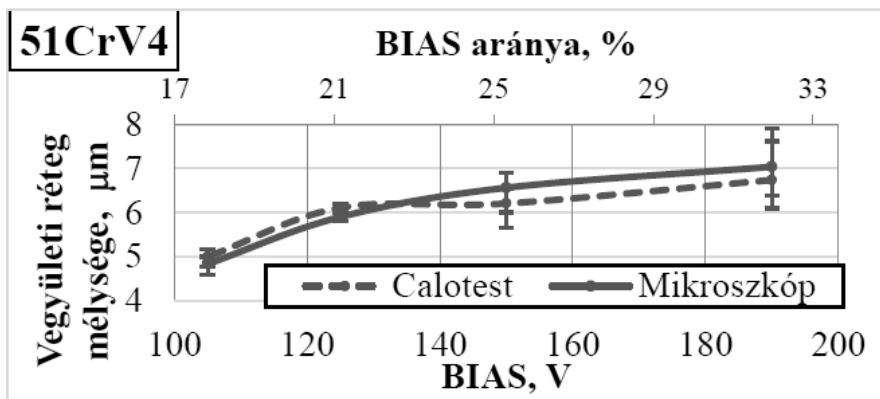
A keresztcsiszolaton való mérés és a Calotest nyomok alapján végzett számítások eredményeinek összehasonlításához nyújtanak segítséget az 4-9. ábrák, a kialakult Calotest nyomok egy-egy jellegzetes képe a diagramok mellett található



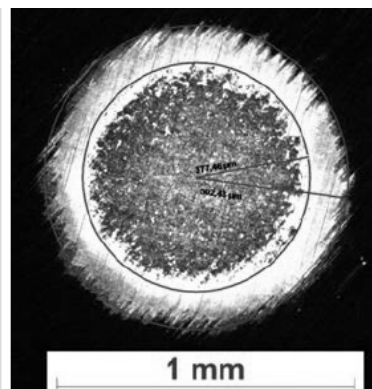
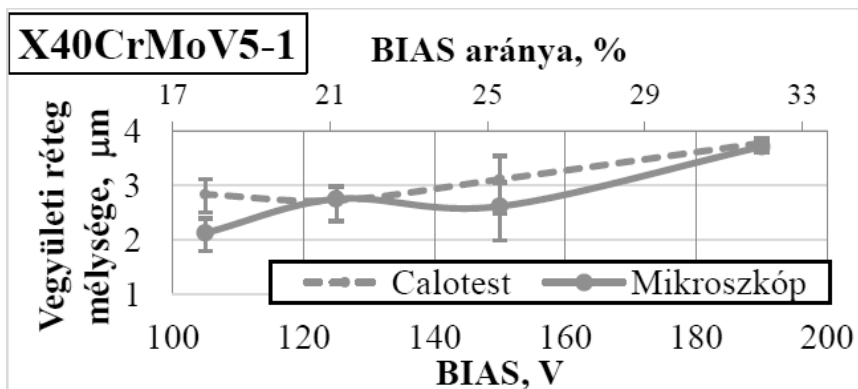
4. ábra: Vegyületi réteg mérési eredmények és Calotest nyom, 16MnCr5



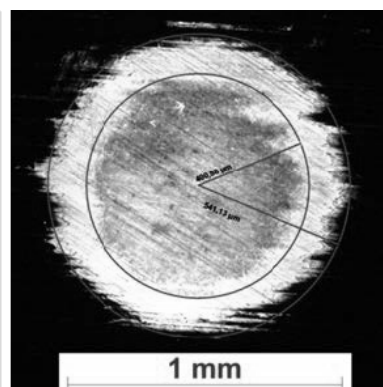
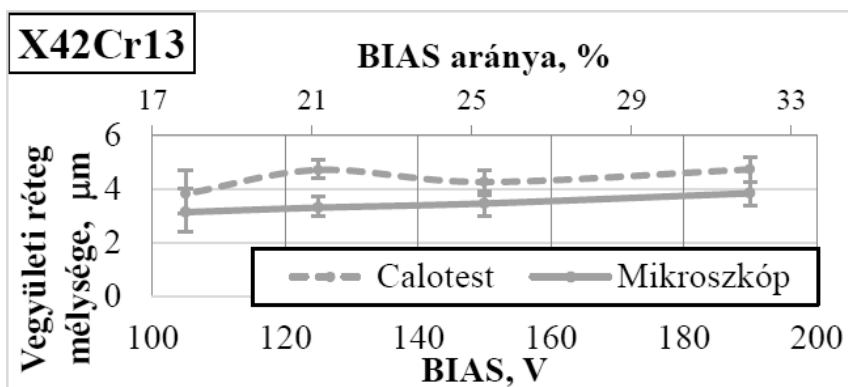
5. ábra: Vegyületi réteg mérési eredmények és Calotest nyom, 42CrMo4



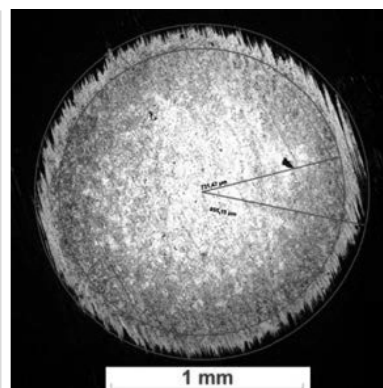
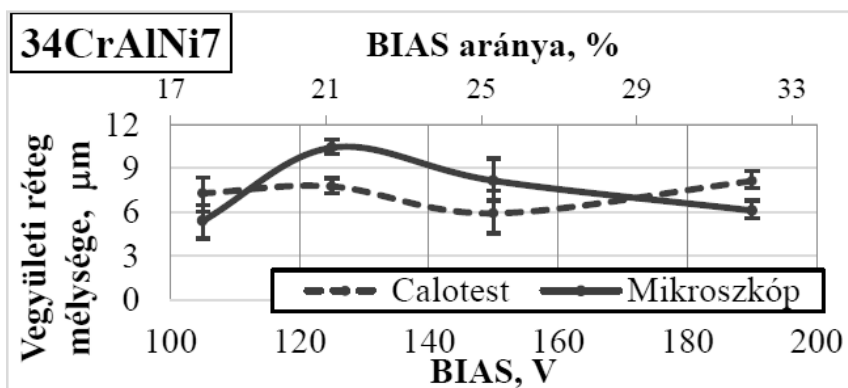
6. ábra: Vegyületi réteg mérési eredmények és Calotest nyom, 51CrV4



7. ábra: Vegyületi réteg mérési eredmények és Calotest nyom, X40CrMoV5-1

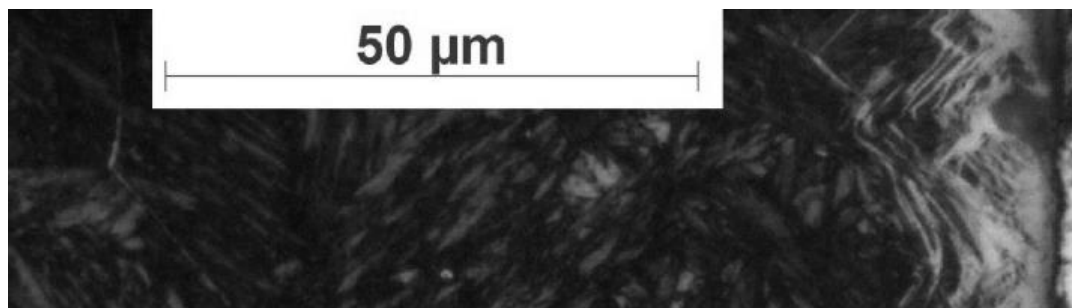


8. ábra: Vegyületi réteg mérési eredmények és Calotest nyom, X42Cr13



9. ábra: Vegyületi réteg mérési eredmények és Calotest nyom, 34CrAlNi7

Az összehasonlítás eredményeként megállapítható, hogy a mikroszkópi csiszolaton mért és a Calotest technika alkalmazásával számított értékek közel megegyeznek. Ez alól kivételt jelentenek a 34CrAlNi7 anyagminőség mérési eredményei. E nitridálás céljára kifejlesztett acél esetében a mérés pontosságát korlátozza, hogy a vegyületi réteg határa nem különíthető el élesen a diffúziós zónától, hanem jelentős mértékű fogazottságot mutat. Ez esetben a mérések során lehetőség van az összefüggő vegyületi rétegmélység, a névleges/közepes és a fogazottság legfelső pontjához tartozó mélység megállapítására is, azonban a mérési pontosság mindkét esetben a szokásosnál nagyobb mértékben függ a vizsgáló személytől.



10. ábra: 34CrAlNi7 szövetkép (BIAS: 150V, Marószers: Nital, N=1000x)

3. Összefoglalás

A bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy:

- a Calotest vizsgálati módszer Nitál marószers alkalmazásával alkalmas a vegyületi réteg mélységének megállapítására:
- a gömbsüveg koptató vizsgálat során keletkezett kráter geometriai jellemzőinek optikai mérése után a vegyületi réteg mélysége képlettel számítható.

A bemutatott mérési módszer által biztosított előnyök:

- a próbatest/minta/alkatrész elvágása nélkül kis roncsolással elvégezhető,
- a mérési eredmény az előkészítési lépés kihagyhatósága miatt gyorsabb,
- kisebb vastagságú rétegek mérése során a mérés pontossága nagyobb, mint a keresztcsiszolaton való mérés esetében.

4. Irodalomjegyzék

- [1] **Pye D.:** *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*, ASM International, December 1, 2003., ISBN: 978-0871707918
- [2] **Lizák J. – Romvári P. – Schäffer J. – Szabó E.:** *Szerkezeti-és szerszámacélok termokémiai kezelése AI hőmérséklet alatt*, Gépipari Tudományos Egyesület X. Országos Hőkezelési Sze-minárium kiadványa, Miskolc-Tapolca, 1983. október 26-28.
- [3] **Mittemeijer, E.J.:** *Fundamentals of Nitriding and Nitrocarburizing*, in Dossett, J., Totten, G.E. (ed.): *ASM Handbook*, Vol. 4A, *Steel Heat Treating Fundamentals and Processes*, 2013, pp. 619-646.
- [4] **Kolozsváry Z.:** *Nitriding Structure and Properties of Nitrided Layers* in Dossett, J., Totten, G.E. (ed.): *ASM Handbook*, Volume 4D, *Treating of Irons and Steels*, 2014, ISBN: 978-1-62708-066-8
- [5] **C. Zhao – C.X. Li – H. Dong – T. Bell:** *Study on the active screen plasma nitriding and its nitriding mechanism*, *Surface & Coatings Technology* 201 (2006) 2320–2325
- [6] **Gallo S.C. – Dong H.:** *On the fundamental mechanisms of active screen plasma nitriding*, *Vacuum* 84 (2010) 321–325
- [7] **Taherkhani F. – Taherkhani A.:** *Surface Characterization of Through Cage Plasma Nitriding on the Surface Properties of Low Alloy Steel*, *Scientica Iranica, Transaction B: Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 4, pp. 253-263.
- [8] **Anton Paar**, *CSM Instruments: Calotest Technical Features*, Neuchâtel, 2014

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt eredményeire alapozva az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Vákuumtechnika és szervizszolgáltatások hőkezelő berendezések részére

Vacuum technique and servicing for heat treatment equipments

Tamási Attila¹



Vákuumtechnika és szervizszolgáltatások hőkezelő berendezések számára
Tamási Attila – ügyvezető

2018. október 3.

EDWARDS **B&T Service Kft.**
NON-STOP VACUUMDOCTOR WWW.EDWARDSVACUUM.COM

INNOVATIVE PRODUCTS GLOBAL STRENGTH LOCAL SUPPORT VACUUM EXPERTISE

Lassan 100 év fejlődés és innováció

EDWARDS

Corporate

- 1919 Established in London
- 1939 Vacuum pump production starts
- 1953 Moved to Crawley
- 1968 Acquired by BOC
- 1971 Japanese JV established
- 1978 Hydrokinetic drive for mechanical boosters
- 1984 Drystar dry pump
- 1992 Korean Co established
- 1994 Edwards first facility in Korea
- 1994 Chemical dry pump
- 1997 Industrial dry pump
- 1997 BOC Edwards established
- 1997 Acquisition: Plasma Products (abatement)
- 2000 New abatement facility at Clevedon, UK
- 2000 Dry scroll pump
- 2001 Acquisition: Industrial Stokes/3H
- 2002 Acquisition: Maglev Turbo business
- 2002 EPX combined primary/secondary dry pump
- 2003 Zenith integrated pump/abatement system
- 2007 Edwards acquired by CCMP/Unitas
- 2009 4th generation dry pump platform
- 2009 nEXT Scientific turbo pump platform
- 2010 New Taiwan sales/service centre
- 2010 Acquisition: Industrial Stokes/3H
- 2011 Czech factory opened (GV)
- 2011 Korean factory opened (Semi/ET)
- 2011 eZenith & green mode CXS chemical pump
- 2011 nEXT wins Queens Award for Enterprise: innovation
- 2012 (March) nXDS Scroll pump
- 2012 (May) New US HQ in Niagara, NY
- 2012 (May) Listed on NASDAQ Stock Exchange (NASDAQ:EVAC)

Products

B&T Service Kft.
NON-STOP VACUUMDOCTOR

EDWARDS

¹ B&T Service Kft.

Több, mint 10 éve a piacon

B&T SERVICE KFT



Telephely/szerviz/raktár:

8000
SZÉKESFEHÉRVÁR
HAD UTCA 1-3.

(Seregélyesi út 113.)



3



Szervizfolyamatok

Strip pump system under ventilated conditions



Clean system using proven slurry type processes



Inspect to factory specifications



Module Build



Receive & Store Service product, HS2 form etc



Computer test to factory specifications and despatch



System Build



Paint



4



Elővákuum szivattyúk, állomások, fenntartók



Raktárról szállítjuk:

- Tömítéskészletek
- Csapágyak
- Motor csapágyak
- Alkatrészek
- Vákuumszivattyú olaj
- Szűrők

Szolgáltatásaink:

- Karbantartás
- Javítás
- Csereszivattyú
- Szervíz szerződés

5

 **B&T Service Kft.**
NON-STOP VACUUMDOCTOR

 **EDWARDS**

Diffúziós szivattyúk szervize, alkatrészellátása



Raktárról szállítjuk:

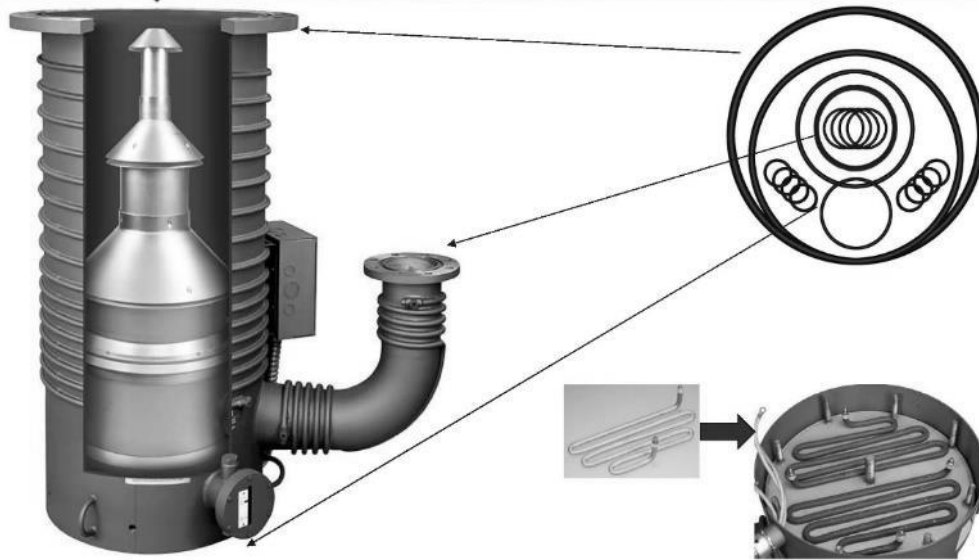
- Inlet O-gyűrűk
- (Tányárszelep O-gyűrűk)
- Vízszigetelések
- Alsó/felső bimetál
- Diffúzor alkatrészek
- Karima tömítés
- Betekintő ablak
- Olajbetöltő csavar
- Diffúziós olaj
- Fűtések
- Kábelezés
- Szigetelések

6

 **B&T Service Kft.**
NON-STOP VACUUMDOCTOR

 **EDWARDS**

Vákuumkomponensek a mindennapokhoz



7

BALZERS, LEYBOLD, EDWARDS, AGILENT/VARIAN ...

B&T Service Kft.
NON-STOP VACUUMDOCTOR

EDWARDS

Vákuummérő fejek szerve, javítása, kalibrálása



Raktárról szállítjuk:

- Elektronika
- Komplet mérőrész
- Tömítéskészlet
- Katód és alkatrészei

Szervizszolgáltatás:

- Tisztítás
- Javítás
- Tesztmérések

Kalibrálás:

- Hitelesített etalon
- Több mérési pont
- Jegyzőkönyv

B&T Service Kft. eVACUUMSHOP.HU **EDWARDS**

Mérés adatai:
PROCEDURE OF CALIBRATION: ÖSSZEKHOSONLÍTÓ MÉRÉS
Comparative measurement

Etalon megnevezése: APG-M-NV21; IMZ175008 836 134273251
DENOMINATION OF MASTER

Etalon gyártója: Edwards
FABRIKAMÁNYFACÉTER

Etalon kalibrációs hitelesítő központja: P01948012
CERTIFICATE No. OF ETALON CALIBRATION

BEKÖZELÉSŐKOR TISZTÍTÁS ÉS BEÁLLÍTÁS NÉLKÜLLEMERÉSI ERŐDŐMÉRŐK:
MEASURING BEHEADS WITHOUT ADJUSTING AND CLEANING AS RECEIVED

Mérés adatai				
Mérés pontja	Mérés adatai		Mérés adatai	
	Előzetes mérés	Utólagos mérés	Előzetes mérés	Utólagos mérés
	mmHg	Pa	mmHg	Pa
1000	13.33	1773	13.33	1773
100	1.33	177.3	1.33	177.3
10	0.133	17.73	0.133	17.73
1	0.0133	1.773	0.0133	1.773
0.1	0.00133	0.1773	0.00133	0.1773
0.01	0.000133	0.01773	0.000133	0.01773
0.001	0.0000133	0.001773	0.0000133	0.001773
0.0001	0.00000133	0.0001773	0.00000133	0.0001773
0.00001	0.000000133	0.00001773	0.000000133	0.00001773

B

B&T Service Kft.
NON-STOP VACUUMDOCTOR

EDWARDS

Szivárgásvizsgálat



9

 **B&T Service Kft.**
NON-STOP VACUUMDOCTOR

 **EDWARDS**

Szivárgásvizsgálat berendezései



10

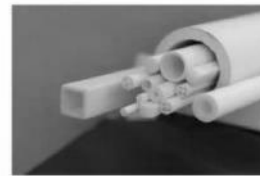
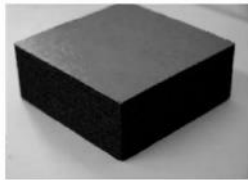
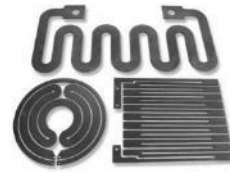
 **B&T Service Kft.**
NON-STOP VACUUMDOCTOR

 **EDWARDS**

Grafit és kerámia



TOYO TANSO
Inspiration for Innovation



11

 **B&T Service Kft.**
NON-STOP VACUUMDOCTOR

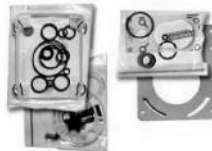
 **EDWARDS**

Vákuumkomponensek a mindennapokhoz



eVacuumShop.eu

The best place for high quality Vacuum products.



12

 **B&T Service Kft.**
NON-STOP VACUUMDOCTOR

 **EDWARDS**

Kérdések, válaszok



13

Infravörös technológia alkalmazása süllyesztékes kovácsszerszámok előmelegítésére

Application of infrared technology for preheating of forging dies

Stoll Krisztián¹, Oliver Houghton²


Infravörös technológia alkalmazása süllyesztékes kovácsszerszámok előmelegítésére
Application of infrared technology for preheating of forging dies

Oliver Houghton, Stoll Krisztián

XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás
Balatonfüred, 2018. október 3-4-5




Firth Rixson Hungária Kft. története



The timeline shows the evolution of the company from 1837 to 2018. It starts with the Firth Rixson logo (1837) and the ALCOA logo (1999), both associated with 'Forgings and Extrusions'. In 2015, the company is still associated with 'Forgings and Extrusions'. In 2016, the ARCONIC logo is introduced, also associated with 'Forgings and Extrusions'. By 2018, the company is associated with 'Engines'. A semi-transparent image of a truck is visible in the background of the timeline.

(1837) 1999 2015 2016 2018

Forgings and Extrusions Forgings and Extrusions Engines



¹ Firth Rixson Hungária Kft. - Arconic AEN

² Arconic - Engineered Product Solutions, Texas, USA

A Fortune 500 Global Company

Arconic global footprint

Company Overview

- \$12.4B Revenue*
- 41,500 Employees
- 157 Global Locations
- 25 Countries

- Engineered Products and Solutions
- Global Rolled Products
- Transportation & Construction Solutions



*2016 revenue in US\$

Our Engineered Products and Solutions Business

Arconic Engineered Products and Solutions (EP&S)

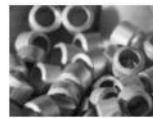
EPS Engineered Products and Solutions



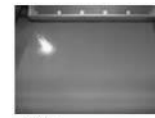
APP
Arconic Power and Propulsion



AFE
Arconic Forgings and Extrusions



AFSR
Arconic Fastening Systems and Rings



ATEP
Arconic Titanium and Engineered Products

▪ **\$5.7 billion** 2016 revenues
 ▪ **Revenues ~70%** from #1 or #2 market positions ~70%
 ▪ **22,000 employees** in 15 countries

- High-performance engineered products and solutions for the **aerospace, industrial gas turbine, commercial transportation and oil and gas markets**
- Strategic global footprint with **key innovation centers adjacent to customer clusters** in North America and Europe and a **low-cost manufacturing footprint**
- **Able to supply >90% of structural and rotating aero engine components**
- Strong base for future growth. Since 2015, EP&S has signed **\$11+ billion in new contracts with important aerospace customers**



Customer Base – Eger

Heavy Truck



Automotive



General Engineering Agriculture



Off Highway



5

Process Capabilities – Eger

Forging Press	Heat treatment	Shot blast	Inspection	Machining
1600 T Massey →	Northern Combustion Control Cooling (CC) Gas Furnaces	Gutmann	Dye Penetrant Inspection Manual Process	Okuma 2SP 250H Dual Robotic Dual Spindle
2500 T TMP →	Northern Combustion Control Cooling (CC) Gas Furnaces	Disa	Trained personell for visual inspection	Ecoac MT312 280 mm
3000 T Eumucko →	Salem Control Cooling (CC) Gas Furnace		Brinell hardness testing	Hurco TM10 290 mm
1800 T Massey	Nassheuer Isothermal Annealing Electric Furnace		Contourgraph	Okuma Genos L300-L400 280 mm / 280 mm-3 pair machine
2500 T Massey	Forced air cooling Tunnel and rotary table		ATOS 3D Scanner	Toyota Puma 350 mm / 350 mm
2500 T Massey	Quench and Temper Water and Polymer		CMM	Okuma Genos M460 CNC milling machine



6

Beruházások



SALEM (H11)
Full overhauling by ANTAL Kft.



Northern Combustion (H13, H16)
Full overhauling by MAXTERM Kft.



Die preheater
Arconic internal design

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

Gas batch furnace (H4)
Firth Rixson internal design



Electric Annealing furnace (H41)
New equipment from ANTAL Kft.



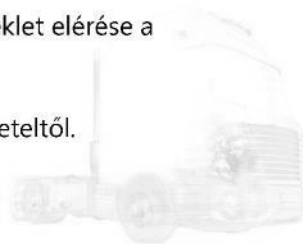
Induction heaters (5 pcs)
Roboterm Czech Republic



10

Szerszám előmelegítés fontossága

- Biztonságos melegítés présen kívül;
- Ráállás utáni hőtágulásból eredő méret/pozíció változások minimalizálása;
- Ráállási idő csökkentése – üzemi hőmérséklet elérése a présen kívül;
- Szerszámok megóvása a korai tönkremeneteltől.

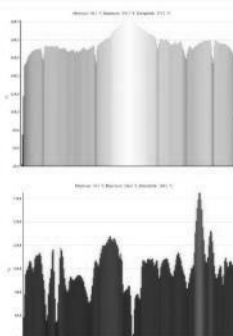
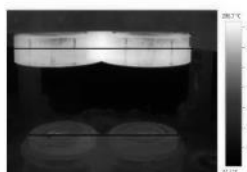


11

Alkalmazott szerszám előmelegítési technológiák



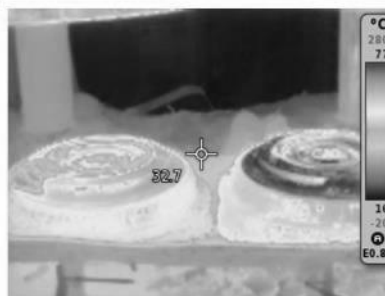
Gázegő



Előny	Hátrány
<ul style="list-style-type: none"> Egyszerű kialakítás; Olcso beszerzés. 	<ul style="list-style-type: none"> Tűzveszély; Egyenlőtlen melegítés; Hosszú melegítési idő.

Alkalmazott szerszám előmelegítési technológiák

Forró buga



Előny	Hátrány
<ul style="list-style-type: none"> Mindig rendelkezésre áll. 	<ul style="list-style-type: none"> Tűzveszély; Egyenlőtlen melegítés; Szerszám kilágyul; Hosszú melegítési idő.

Alkalmazott szerszám előmelegítési technológiák

Kamrás kemence



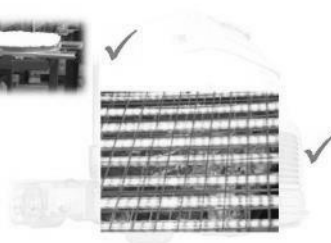
Előny	Hátrány
<ul style="list-style-type: none"> Szabályozható; Zárt berendezés; Présen kívüli; Egyenletesebb hőeloszlás. 	<ul style="list-style-type: none"> Hosszú melegítési idő; Teljes kazetta melegítése; Hőtágulás/zsugorodás; Szerszámház melegítés.

Az ötlet

Előmelegítés nyitott kazettán belülről kifelé

Megvizsgálat opciók:

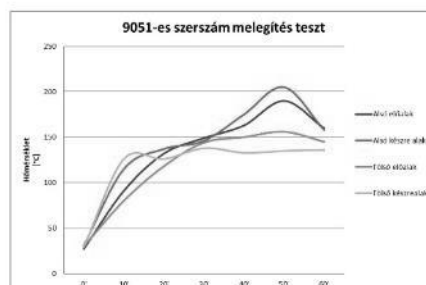
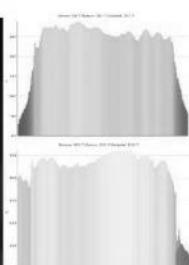
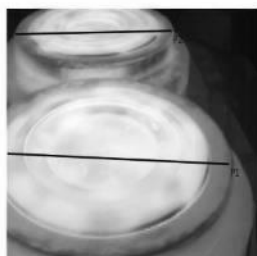
- Nyílt láng;
- Indukciós lap;
- Infravörös technológia.



Indukciós lap – teszt



Indukciós lap - eredmények



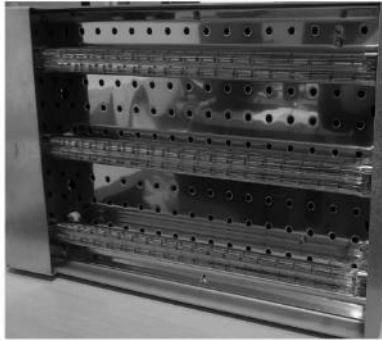
Előny

- Jól szabályozható, automatizálható;
- Parciális fűtőzónákra korlátozható és mindig reprodukálható hevítési folyamatokat hoz létre;
- Nincs nyílt láng.

Hátrány

- A beszerzési költségek magasak;
- Hevítéskor bizonyos felületek kiágyulhatnak;
- Mély profilú szerszámok esetében, ha nem megoldott az egyenletes hőmérséklet eloszlás, törés, vagy repedés következhet be.

Infravörös - teszt

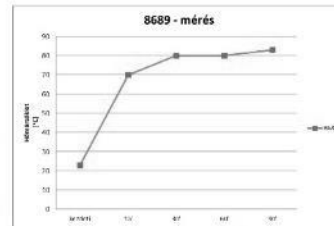
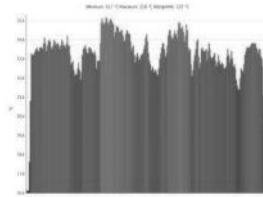
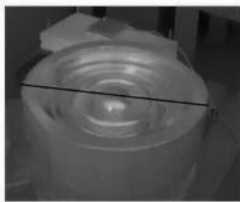


Teljesítmény:	3,6 kW
Felületi teljesítmény:	42 kW/m ²
Tápfeszültség:	230V/15,6A/40-60 Hz
Gyártó:	Heraeus Noblelight GmbH



18

Infravörös - eredmény



Előny

- Jól szabályozható, automatizálható;
- Egyenletes hőelosztás a szerszám felületén;
- Megvalósíthatóak az üzemi hőmérséklet viszonyok;
- Profilból független;
- Gyors hőtadás;
- Nincs nyílt láng.

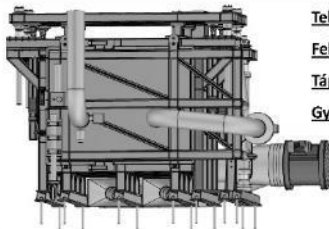
Hátrány

- A beszerzési költségek magasak
- Csak zárt térben alkalmazható (látás védelme);
- Rezgésre, ütésre érzékenység.

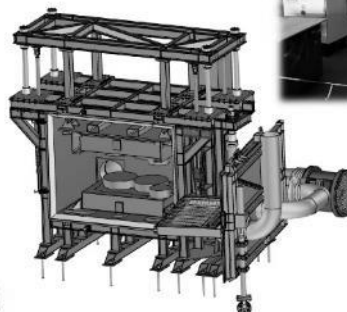
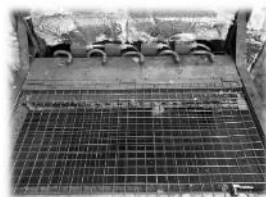


19

Megvalósult projekt



Teljesítmény:	60 kW
Felületi teljesítmény:	128 kW/m ²
Tápfeszültség:	400V/87A
Gyártó:	Heraeus Noblelight



20

Megvalósult projekt – szerszám berakása



 ARCONIC

21

Megvalósult projekt - szétnyitás



 ARCONIC

22

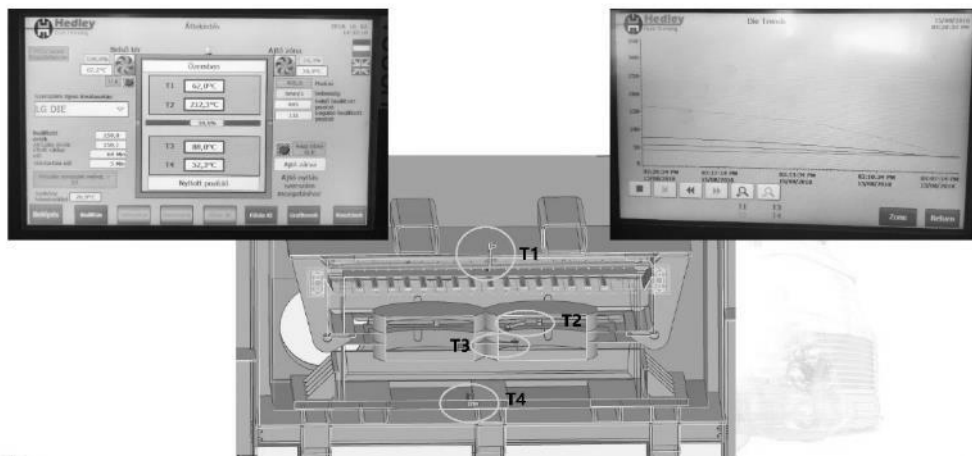
Megvalósult projekt - hevítés



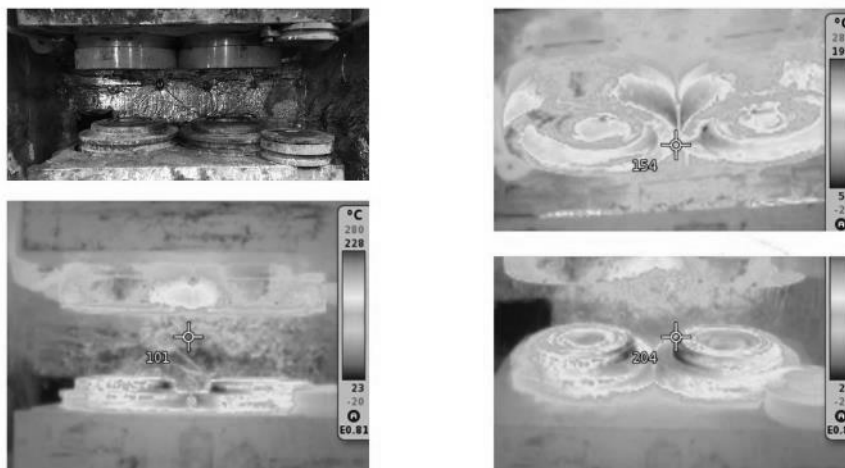
 ARCONIC

23

Megvalósult projekt - szabályozás



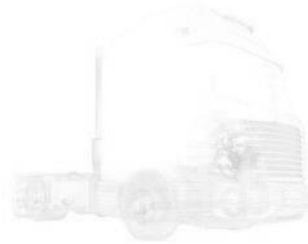
Megvalósult projekt - eredmény



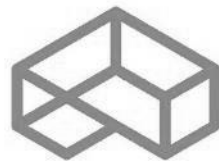
Összefoglalás

- Az infravörös technológi alkalmazhatósága igazolt, kovácsszszám előmelegítéshez;
- A kazetta elemek különböző hőmérsékletének előnye a hőtartás során „eloszlik”, pontosabb időzítés szükséges gyártásbavétel előtt;
- További kísérletek tervben a szerszám belsejében történő hőviszonyok további megismerésére

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



27



ARCONIC
Innovation, engineered.

28

Moduláris, vezérelt atmoszférás CODERE kemencék üzemeltetési tapasztalatai és előnyei bérhőkezelő cégek részére

Operating experiences and benefits of modular, controlled atmosphere CODERE furnaces for heat treatment companies

David Howard¹, Szabó Gábor²



**MODULÁRIS, VEZÉRELT ATMOSZFÉRÁS
CODERE KEMENCÉK ÜZEMELTETÉSI
TAPASZTALATAI ÉS ELŐNYEI
BÉRHŐKEZELŐ CÉGEK RÉSZÉRE**

CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

CODERE



- Alapítás éve 1989.
- Magas hőmérsékleten üzemelő kemencék gyártása
- CODERE a következő piacokon aktív :
 - Autóipar
 - Repülőgépipar
 - Óragyártás
 - Nemesfémek ipara
 - Gépgyártás
 - Szerszámok és rögzítők
 - Fegyvergyártás
 - Bérhőkezelők



CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

2

¹ Codere SA, Svájc

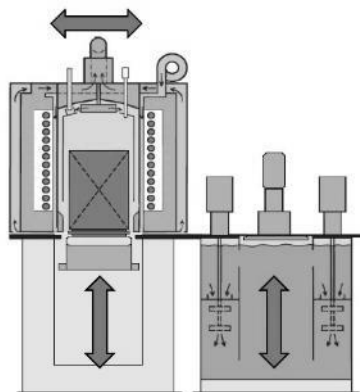
² Galika Szerszámgépek Kft.

CODERE 250 Alapelv és funkcionális szétválasztás

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since quality since 1970

Az alap installációó egy vonalban, két szinten:

- Mobil kemence a felső szinten
- Különálló hűtőtartály az alsó szinten
- Egy manipulátor a betöltéshez és kivételhez

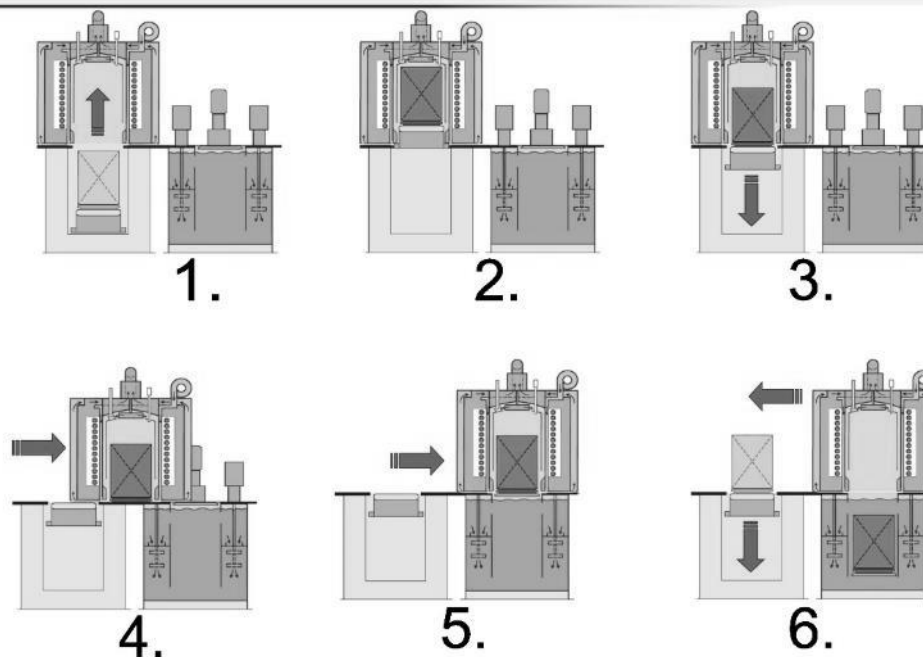


CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

3

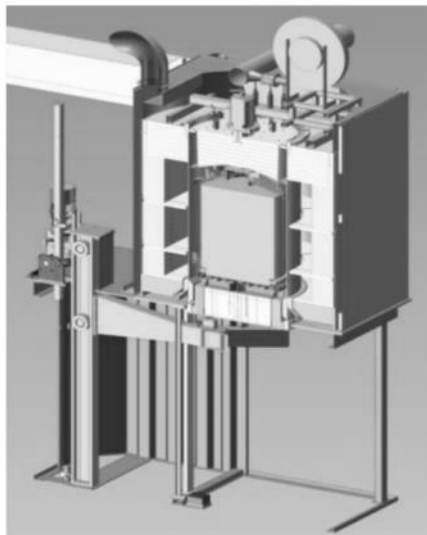
SYSTEM 250 - Harang típusú kemencék

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since quality since 1970



CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

4



A kemence a következő elemeket tartalmazza

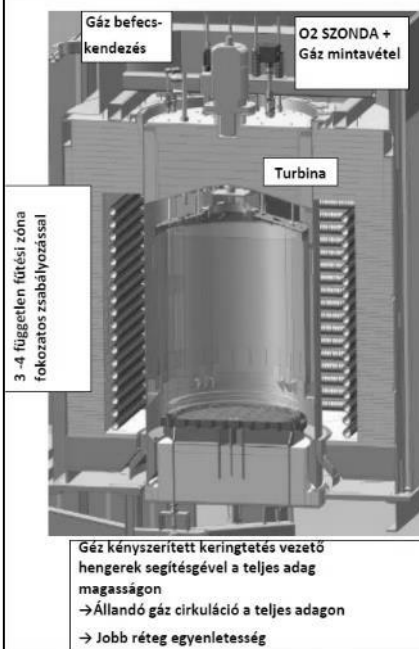
- Szigetelt kemence szerkezet
- Radiális fűtés független fűtés zónákra osztva (gáz vagy elektromos fűtés)
- Egy harang tűzálló acélból
- Egy felső csatlakozó
- Egy turbina kényszer konvekcióval
- Egy lift a darab betöltéshez és kivételhez

A következő védőgázás hőkezelések lehetőségei :

- Közöséges (martenzites) edzés
- Cementálás
- Karbonitridálás

TMax. munkahőmérséklet 1100°C

A FÉM RETORTA ÉS RADIÁLIS FŰTÉS ELŐNYEI GÁZFŰTÉSES KEMENCE METSZETE



A fém harang biztosítja:

- Az atmoszféra gyors beállítását < 15 min
- Alacsony gázfogyasztást
- Reaktív atmoszférával történő munkavégzést vagy semleges atmoszféra (nitrogén , argon)
- A cementálás és karbonitridálás között nincs időfeltétel

A radiális fűtés biztosítja:

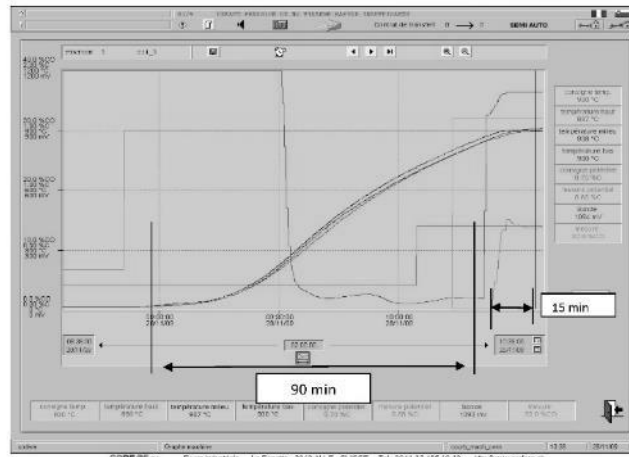
- Hőmérséklet egyenletesség < +/-5°C
- Az adag gyors és egyenletes felfűtését

Megjegyzés

- A kemence kikapcsolható ha nincs hőkezelés
- A szobahőmérsékletre munkahőmérsékletre történő felfűtés kevesebb, mint 1.5 óra

SYSTEM 250 - BELL-TYPE FURNACE

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT



- Könnyű üvegszálás szigetelés
Felfűtés 20-ról 850°C-ra ≤ 90 min.
- Körkörös fűtés + hatékony konvekció
Hőmérséklet egyenletesség = +/-5°C

- Acél retorta:
Atmoszféra csere ≤ 15 perc
Alacsony gázfogyasztás
Egyenletes szénszint= +/- 0.05%

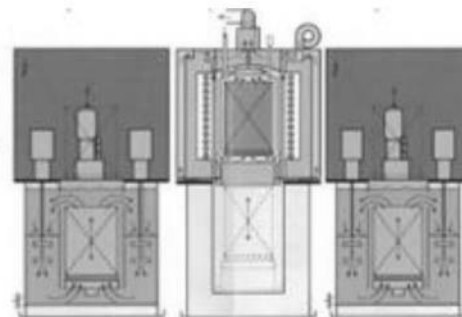
CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

7

A FUNKCIÓK ELKÜLÖNÍTÉSÉNEK ELŐNYEI

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT

CODERE 250



- Közvetlen átvitel a kemencétől a hűtőtartályig
- 1 kemence egy vagy több hűtőtartályhoz

CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

SYSTEM 250 - BELL-TYPE FURNACE

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since quality is a way of life



Adag \varnothing 2000 x 4500 = 5 T



Adag \varnothing 700 x 1000 = 500 Kg



Adag \varnothing 150 x 150 = 6 Kg

CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

9

MESSIER MEXICO CODERE 251 – 200/ 300 TÖLTET (3T)

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since quality is a way of life



CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

10

SYSTEM 250 - BELL-TYPE FURNACE
Beruházás lépésről lépésre



HTU 1. lépés



HTU 2. lépés



HTU 3. lépés

SYSTEM 250 42/60

- 1. szállítás



- Teljes automatizálás



- Kibővített termelés



- Adag példa



SYSTEM 250

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since 1945



**Adagkezelés targoncával
A hőkezelés és hűtés automatán
működik**

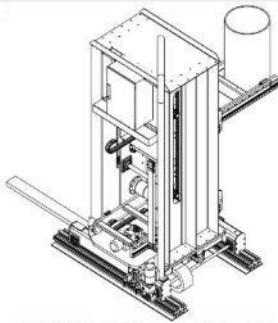


CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch | ISO 9001

13

SYSTEM 250

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since 1945



**Teljesen automata működés a be- és kitöltő
állomástól kezdve manipulátor segítségével.
Csökkenő költségek**

CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch | ISO 9001

14

CODERE SYSTEM 250 – 42 / 60
KÜLÖNBÖZŐ HŰTŐKÖZEGEK EGY SORBAN



1 VÍZTARTÁLY– 1 HT* KEMENCE- 1 SÓHŰTŐ– 1 HT* KEMENCE– 1 GÁZTARTÁLY



HT* - MAGAS HŐMÉRSÉKLETŰ KEMENCE

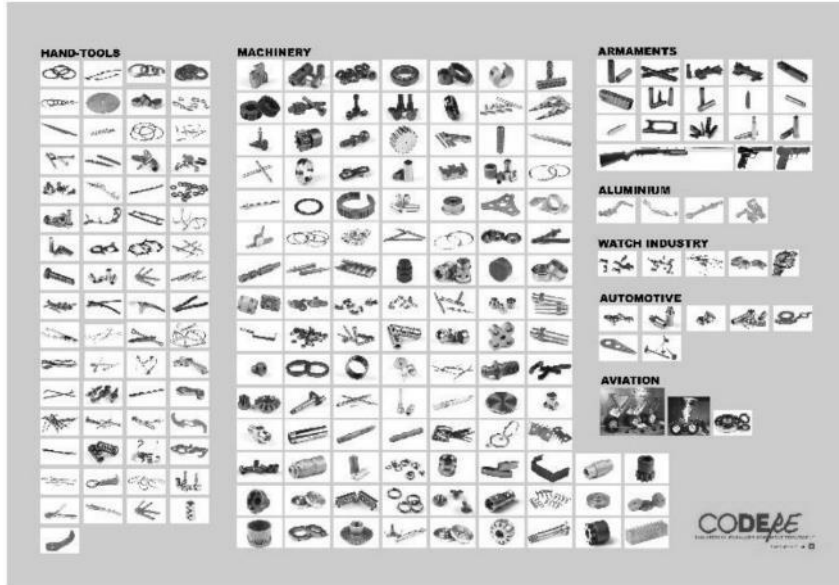
CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

PÉLDA KIS SZÉRIÁKRA, NAGY RUGALMASSÁG A
HŐKEZELÉSI FOLYAMAT SORÁN



CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

REFERENCIA DARABOK IPARÁGANKÉNT



ADAG PÉLDÁK



OLAJ HÚTÉS



OLAJ HÚTÉS





**VÁKUUM HŐKEZELŐ KFT
SYSTEM 250: 70/100**



A MODULÁRIS, VEZÉRELT ATMOSZFÉRÁS KEMENCÉK ELŐNYEI

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since 1945 in Switzerland

- ✓ **Termelékenység**
 - ✓ Nagyon gyors atmoszféra beállítás
 - ✓ Gyors atmoszféra csere (edzés, cementálás, nitrocementálás...)
 - ✓ Egyszerű automatizálás (költség csökkenés)
 - ✓ Nagy rugalmasság (adagok és folyamat esetében is)
 - ✓ Adag súly/méret limitek nélkül (nyomó/csúszó típus, nincs lánc)
 - ✓ Különböző hűtőközegek egy azon kemencéhez
- ✓ **Költség**
 - ✓ Könnyű karbantartás (mozgó alkatrészek a hideg területen vannak...)
 - ✓ Alacsony gázfogyasztás (acél retorta)
 - ✓ alacsony energia fogyasztás
- ✓ **Beruházás**
 - ✓ Folyamatos bővítési lehetőségek
 - ✓ Beruházás lépcsőről-lépésre
 - ✓ Kis helyigény (kompakt konstrukció)
 - ✓ Nem szükséges gödör (betonon álló szerkezet)
 - ✓ Könnyen mozgatható
- ✓ **Mennyiség**
 - ✓ Hosszú alkatrészek vertikális hőkezelése (függesztve)
 - ✓ Kiváló atmoszféra egyenletesség (acél retorta)
 - ✓ Kiváló hőmérséklet egyenletesség (körkörös kemence alsó dugóval)
 - ✓ Az adag közvetlen átvitele a hőkezelés után a hűtőközegbe. Zárt rendszer, nincs hősés

CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

ÜGYFÉL REFERENCIÁK IPARÁGANKÉNT

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT
Since 1945 in Switzerland

Traitement à façon - Treatment services - Lohnhärtereien



Rue de Maccourt 12 | CH-1471 | CH-1462 Allé | Switzerland
T: +41 (0)22 488 10 10 | F: +41 (0)22 488 10 11
info@codere.ch | www.codere.ch

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT

CODERE SA | Switzerland | www.codere.ch ISO 9001

ÜGYFÉL REFERENCIÁK IPARÁGANKÉNT

Automobiles / Tracteurs / Utilitaires - Car / Tractor / Utilities - Auto / Traktor / Utility



Rue de Mülhausen 12 | CH-1417 | CH-2942 Aar | Switzerland
T: +41 (0)52 485 10 11 | F: +41 (0)52 485 10 11
info@codere.ch | www.codere.ch

ÜGYFÉL REFERENCIÁK IPARÁGANKÉNT

Éléments de machines - Machine parts - Machinenteile



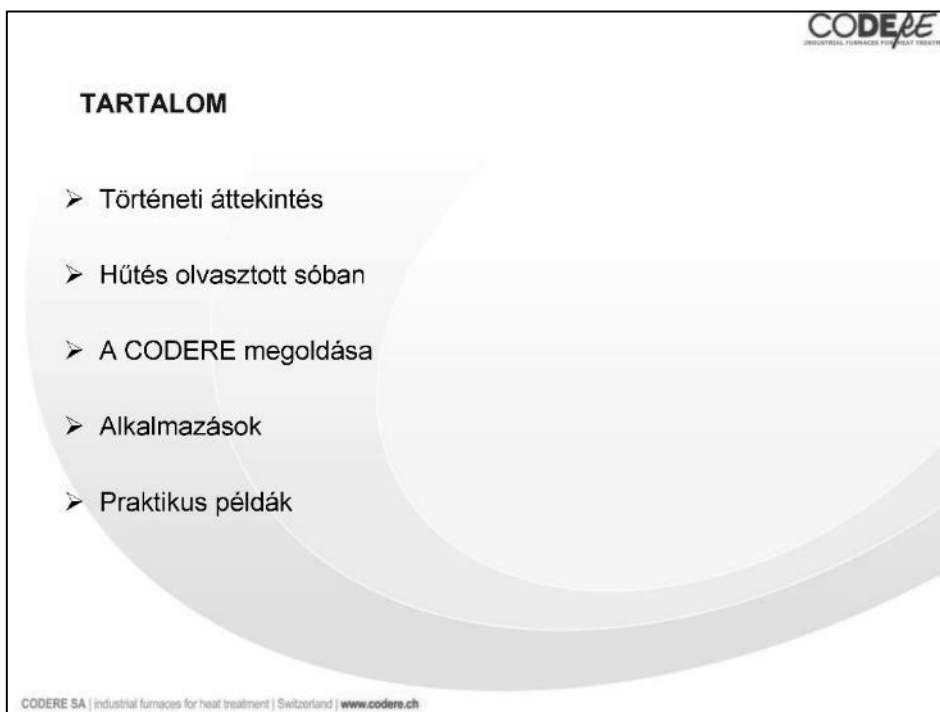
Rue de Mülhausen 12 | CH-1417 | CH-2942 Aar | Switzerland
T: +41 (0)52 485 10 11 | F: +41 (0)52 485 10 11
info@codere.ch | www.codere.ch

KÖSZÖNJÜK

Sóhűtés moduláris hőkezelő sorokon

Salt cooling on modular heat treatment lines

David Howard¹, Szabó Gábor²



¹ Codere SA, Svájc

² Galika Szerszámgépek Kft.

Történelem

- Az olvasztott sóban történő hűtést gyakran mérgezéssel, környezet szennyezéssel és veszélyes munkakörnyezettel azonosították
- A magas hőmérsékletű hőkezelési folyamatok során, mint edzés vagy cementálás, az olvasztott sóban történő hűtéséhez bárium-kloridot ($BaCl_2$) vagy cianidot ($NaCN$) használtak

A mérgező sógőzöket el kellett szívni ill. meg kellett szűrni.

- A darabokat a következő közegekben lehetett hűteni
 - Olaj
 - Víz
 - Olvasztott só elegyei, $NaNO_2$ és KNO_3

A hűtőközegeket a meleg sók szennyezték , nagy volt a karbantartási költség (leválasztás) és nem lehetett visszanyerni

Történelem

- Mindezen hátrányok mellett a sófürdő nagy rugalmasságot biztosított a hűtés során még kis szériák esetében is
- Annak érdekében , hogy ezt a rugalmasságot megtratsuk , de leküzdjük a sófürdő okozta hátrányokat a Codere kifejlesztette a moduláris, harang típusú, vezérelt atmoszférás kemencéit , melyhez számos hűtőközeg használható , beleértve a sóhűtést is.

A sófürdő technológia fejlődése

Korábban



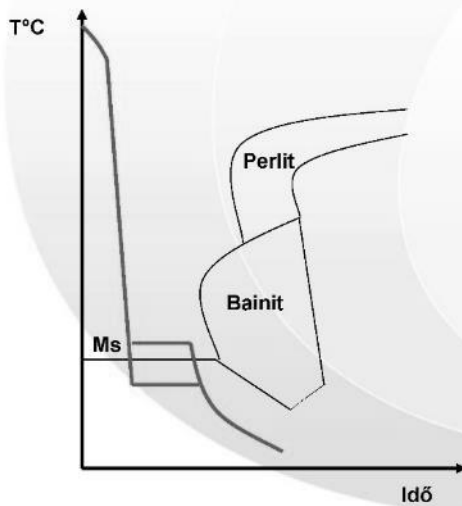
Ma



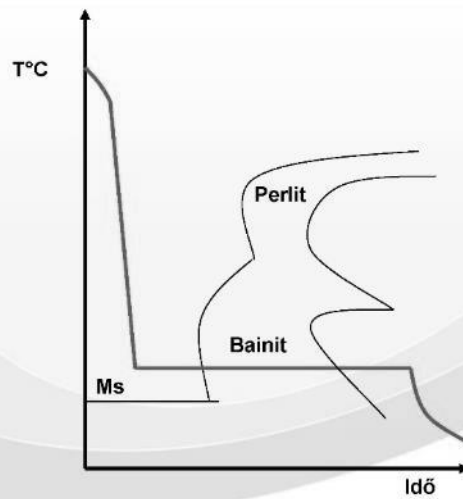
CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

Hűtési folyamat sófürdőben

Martemperálás
Carbomartemperálás



Ausztemperálás

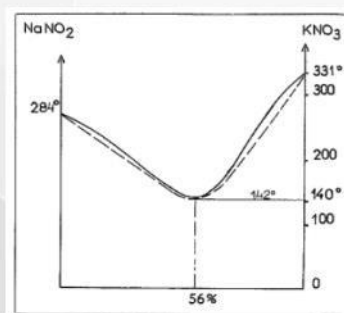


CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

A hűtéshez használt olvasztott só tulajdonságai Kémiai összetételek

1. csoport :

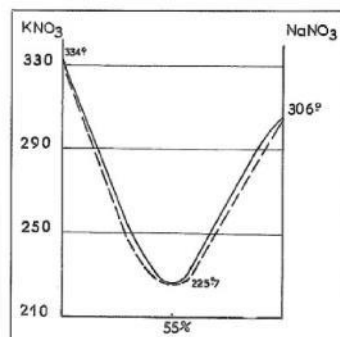
- Nátrium nitrit és kálium nitrát elegye, 160 és 500°C közötti munkahőmérsékleten.
- A leggyakoribb elegy 44% NaNO_2 és 56% KNO_3 tartalommal bír sűrűsége 1.9 kg/dm³ és a hőkapacitása 0.36 kcal/dm³ 200°C-on



A hűtéshez használt olvasztott só tulajdonságai Kémiai összetételek

2. csoport :

- Nátrium Nitrát és Kálium Nitrát elegye, 250 és 550°C közötti munkahőmérsékleten.
- A leggyakoribb elegy 55% NaNO_3 és 45% KNO_3 tartalommal bír, sűrűsége 1.8 kg/dm³ és hőkapacitása 0.38 kcal/dm³ 300°C-on.

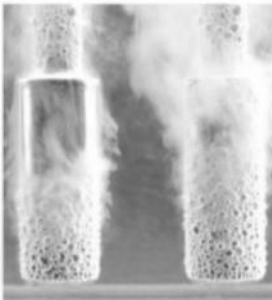


A hűtéshez használt olvasztott só előnyei

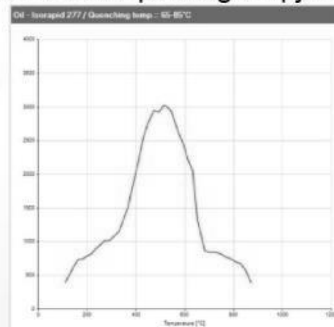
- Teljes mértékben ásványi anyagok és nem öregednek
- Nem éghető anyagok így nagy biztonsággal alkalmazhatók
- Mivel gyenge a gőznyomásuk így a hevítési fázis szinte észrevehetetlen a hűtési görbén és minimális alakváltozás megy végbe a hőkezelt darabon.
- Vízen moshatók és nem hagynak karbon maradványt a felületen éppen ezért megkönnyíti az előmunkálatokat
- Széles hőmérséklet tartományban használhatók, biztosítva a martemperálást, ausztemperálást vagy temperálást
- Környezetbarát hűtőközeg

A hűtősó előnyei

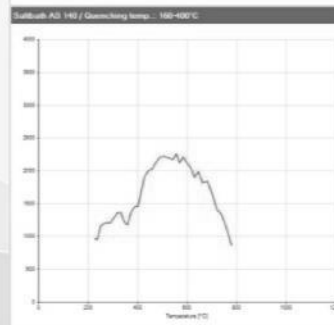
- Olaj/só összehasonlítás W/m^2K hővezetőképesség alapján



olja/víz =
forrás görbe



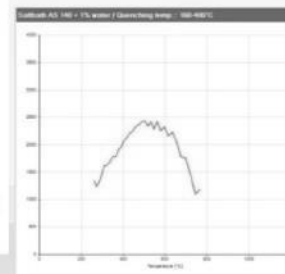
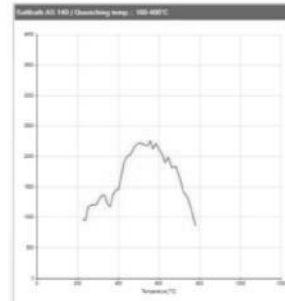
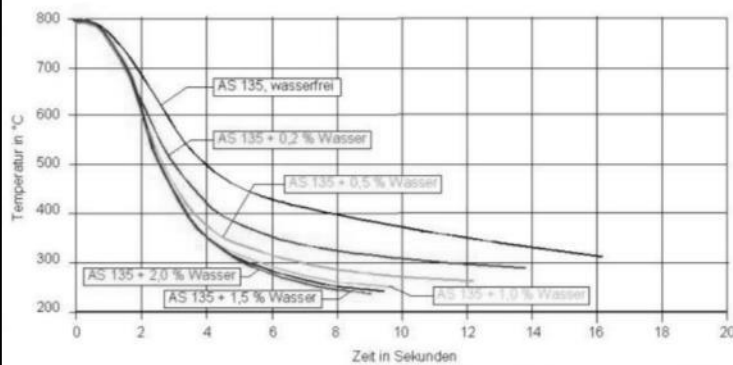
só= (folyamatos)
kicserélődés



A víz hozzáadás hatása a hűtés pontosságára

Abkühlkurven von Salzwanne AS 135 mit verschiedenen Wassergehalten

Prüfkörper: 10 mm Ø zunderfestes Material ohne Umwälzung
Prüftemperatur 220 °C



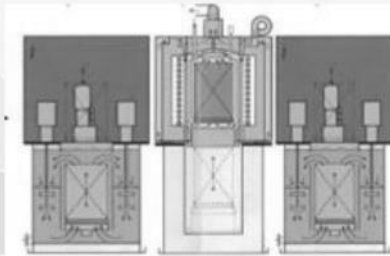
A sóhűtés műszaki jellemzői

- A sóhűtés használata egy vezérelt atmoszférájú kemence esetén megköveteli a gázok kezelésének funkcionális szétválasztását
- Ezen korlátozások értelmében az installációt el kell látni:
 - egy közbenső kamrával
 - Hátrányok : hőmérséklet esés kis daraboknál, bonyolult transzfer rendszer
 - az adag transzfer levegőn keresztül
 - Hátrányok : hőmérséklet esees, oxidáció széntartalom csökkenés

Codere megoldása

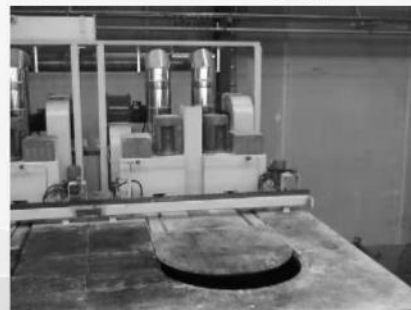
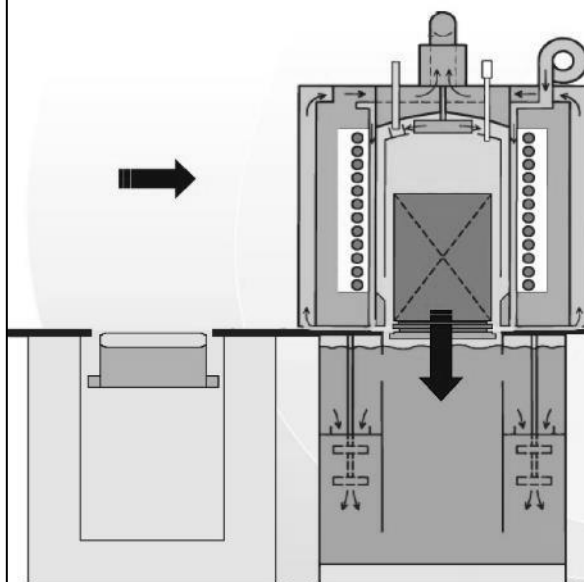
A Codere kifejlesztett egy moduláris, vezérelt védőgázos, harang típusú kemencét , mely biztosítja:

- A kemence és a hűtőtartály egyszerű szétválasztását
- Hatékony, térfogat arányos hűtés keringtető rendszerrel ellátva
- Egyszerű és közvetlen adagátvitel a kemencétől a hűtőtartályig , csúszkás megoldás , nincs érintkezés a levegővel, nincs hőmérséklet esés.
- Nincs közbenső kamra, kompakt megoldás



CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

Codere megoldása

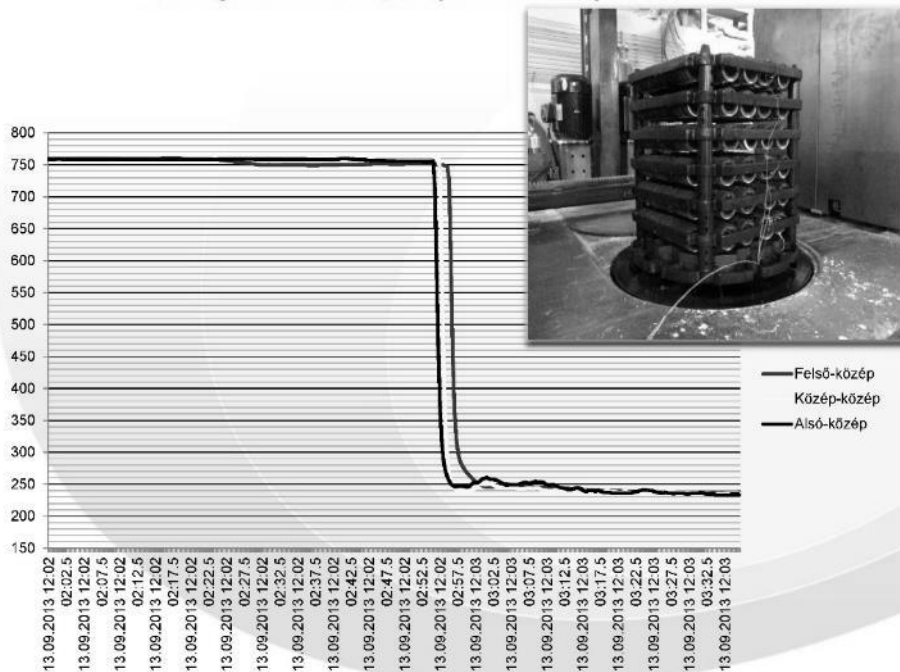


CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

A kemence és hűtőtartály funkcionális szétválasztásának előnyei

- **Az adag a kemencével együtt mozog , magas hőmérsékleten , meghajtó rendszerek nélkül.**
 - Nagy megbízhatóság
 - Karbantartás mentes
- **Az adag egyből a hűtőtartályhoz kerül**
 - Nincs hőesés a darabokon
 - Nincs oxidáció (védőgáz)

Az adag hőmérséklet profilja a hűtőtartályba történő átvitel során



Környezetbarát só lemosó rendszer –3 inverz kaszkád tartály Sókoncentráció vezérlés

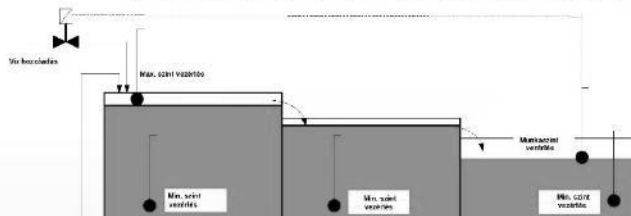
CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT



CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

Zárt mosó berendezés sematikus ábrája

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT



Amennyiben a munkaszint 5 percen belül nem teljesül, úgy egy hibajelzés lép életbe. A vészjelzés nyugtázása után a viztöltő mágnesszelep legfeljebb 5 percre nyílik meg. Ha a minimum szint vezérlés jelez, akkor a fűtés és a szivattyú kikapcsol.

A hűtővizet újrahasznosítjuk egy atmoszférikus nyomású, egyszerű párológató rendszeren keresztül

A víz kondenzálódik és visszakérül az öblítő tartályba

Az ülepitett só újra felhasználható

A sóvísszanyerő rendszer egy zárt körben működik

CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

Só mosás komplett megoldása
Esőztető és merítő rendszer sóvisszanyerő funkcióval



CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

Alkalmazások

- **Martemperálás**
- **Carbomartemperálás**
- **Ausztemperálás**
- **Carboausztemperálás**

CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

Applications

Martemperálás :

Martemperálás során a darabokat sófürdőben az Ms hőmérséklet közelébe hűtjük és mindaddig ott tartjuk, amíg a keresztmetszeten a hőmérséklet ki nem egyenlítődik.

Ezután a darabokat kivesszük a fürdőből és levegőn hűtjük. A hőmérséklet-gradiens a darab felülete és közepe között sokkal kisebb martemperálás során, mint a hagyományos hűtések esetén.

Mindez csökkenti a hő és átalakulás okozta feszültséget , ezáltal minimalizálva a deformációt, valamint a törés veszélyét.

Példa: Csapágyak martemperálása



2000db. / adag

Síklapúság mérés eredménye

- Sólfürdő: 95% < 0,10mm
- Olajfürdő : 50% < 0,10mm



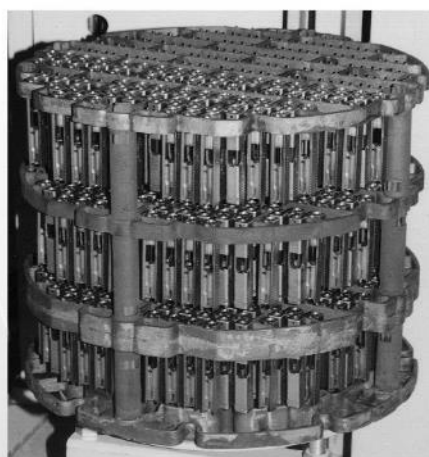
Példa: Jól forgácsolható darabok martemperálása



Adag mérete : dia=300 x h=350 mm

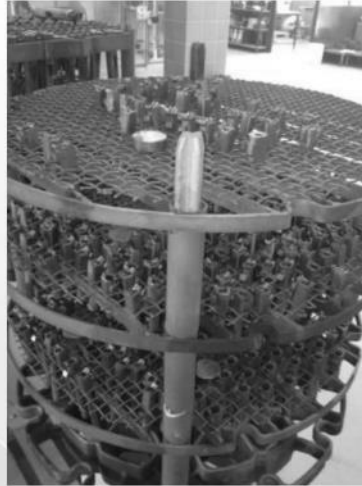


Példa: Kézi lőfegyver szán martemperálása



Sóhűtéssel nem szükséges egyengetés, nem úgy,
mint más hűtőközegek használatakor.

**Példa: Fegyvercső
Martemperálása**

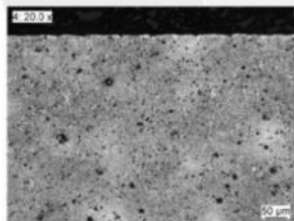


Sóhűtéssel nem szükséges egyengetés, nem úgy,
mint más hűtőközegek használatakor.

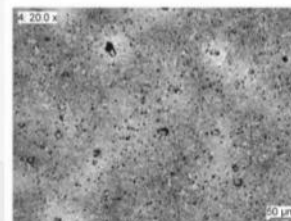
**Példa:
Csapágykosarak martemperálása**



**Példa:
Fegyveralkatrészek martemperálása**



Kunde: Codere SA
Auftrag: 197597
Bild: Rand/ Zugprobe Nr. 2 /
1.7226 (42CrMo4)



Kunde: Codere SA
Auftrag: 197597
Bild: Kern/ Zugprobe Nr. 2
Kernhärte: 295 - 356 HV 1

Alkalmazások

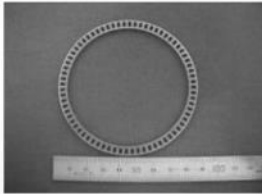
Carbo-martemperálás:

Az alacsony széntartalmú mágnesezhető fémek szintén martemperálhatók, de csak cementálást vagy nitrocementálást követően.

Carbomartemperálás kombinálja a két folyamat előnyét. Ezzel az eljárással hőkezelt darabok szívósabbak, mint a hagyományosan cementált vagy edzett alkatrészek.

A legnagyobb előnye, a kis deformáció, amely kisebb edzettkéregvastagság mellett az edzést követő köszörülési ráhagyást csökkenti.

Példa: támgyűrű carbomartemperálás


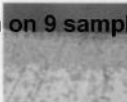
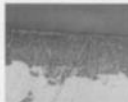







Siklapúság mérés:

- Sófördő: 95% < 0,10mm
- Olajfördő: 50% < 0,10mm

2000 db/adag



①	 0.07mm \$45HV	⑤	 0.07mm
②	 0.07mm	⑥	 0.07mm
③	 0.07mm	⑦	 0.06mm
④	 0.07mm	⑧	 0.06mm

Példa: Csapágyak carbomartemperálása



Carbomartemperálás: deformáció összehasonlítás só vs. olaj hűtés

Darab : fogaskerék
Anyag : 16 MnCr5
Folyamat: betétedzés CHD: 0.60 mm

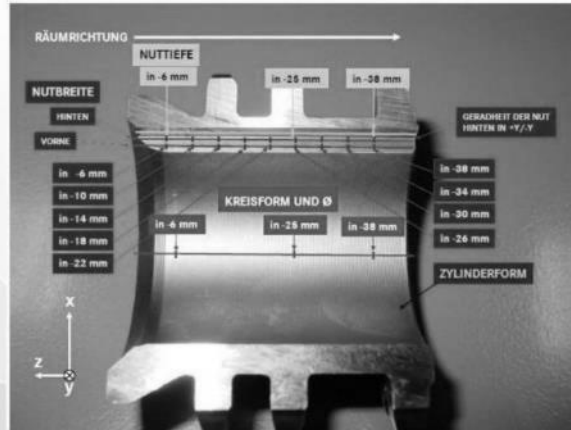


Bild 1: Zu messende Merkmale und Messpunkte am Kurbelwellenrad

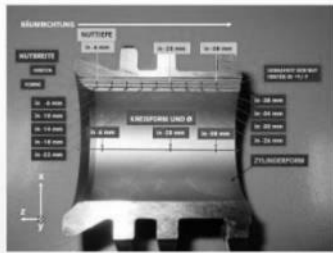


Bild 1: Zu messende Merkmale und Messpunkte am Kurbelwellenrad

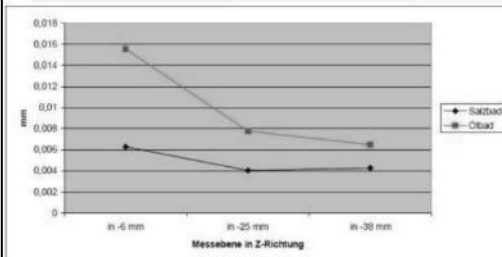
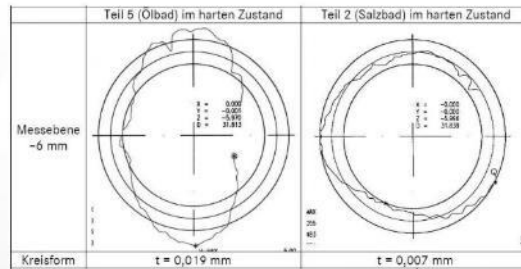


Abbildung 13: Mittlere Änderung der Kreisform bei Öl- und Salzbadabschreckung

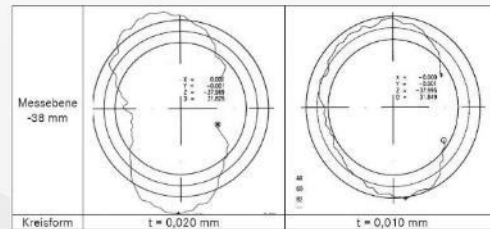


Tabelle 2: Kreisform der Innenbohrung bei Öl- und Salzbadabschreckung

Alkalmazások

Ausztemperálás:

A hagyományos austemperálás során a darabot sófürdőne hűtjük az Ms hőmérséklet felé és addig tartjuk ott, amíg az ausztenit át nem alakul bénitté.

Ezután a darabot kivesszük és szobahőmérsékleten, levegőn hűtjük.

A martenzittel összehasonlítva a bénit kisebb keménységgel rendelkezik de könnyen alakítható és nem szükséges temperálás

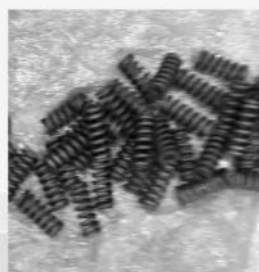
A keménységet összehasonlítva az ausztemperált darabok szívósabbak és jobb a kompásállóságuk, mint a martenperált daraboké. Ezen kívül magasabb a fajlagos ütőmunkájuk, valamint a kifaradási határzilárdságuk.

Sóhűtés példa: Ausztemperált Seeger-gyűrű



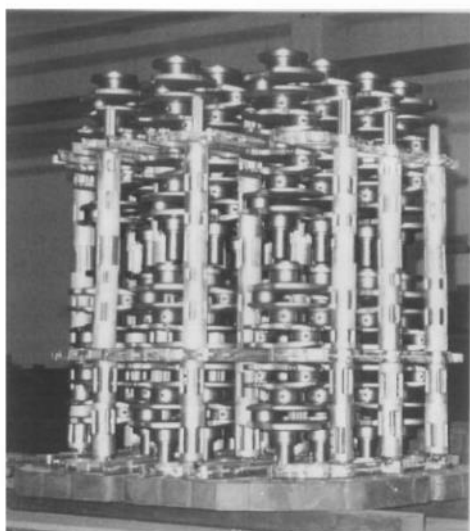
Seeger-gyűrű 850°C / 20 mn
300°C / 30 mn

Tekercsrugó



CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

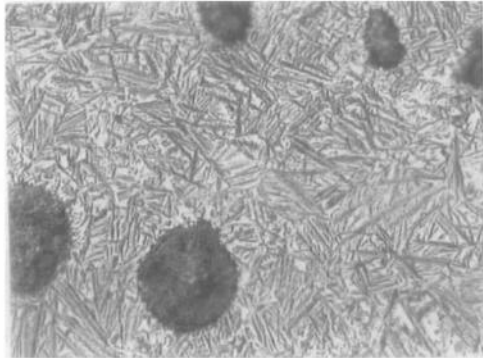
ADI öntöttvas



- Adag 26 db. főtengely
- 450 Kg. nettó súly
- ADI :
 - 3,5%C - 2,5% Si – 1,2% Ni
 - 0,8%Cu – 0,2%Mo – 0,25% Mn
- HT paraméterek
 - 870°C / 60 min H₂/CO alatt
 - Hűtés sóban 350°C /1 óra

CODERE SA | industrial furnaces for heat treatment | Switzerland | www.codere.ch

ADI öntöttvas



X500

- Keménység 340-350 HB
- Homogén bainit mikrostruktúra, maradék ausztenit 30/40%
- max. szakítószilárdság (Rm): 1000 Mpa
- 0.2% folyáshatár (Rp 0.2): 750 Mpa
- Folyáshatár A5 : mini 6 %

Gyártási költség + Anyag

EN-GJS-1000-5

ausztemperált

= -15%

35MnVa7

kovácsolás + hűtő berendezés

Alkalmazások

➤ Carbo-ausztemperálás:

Ez egy egyedülálló folyamat mert először a darab magja keményedik fel és csak utánna a felülete.

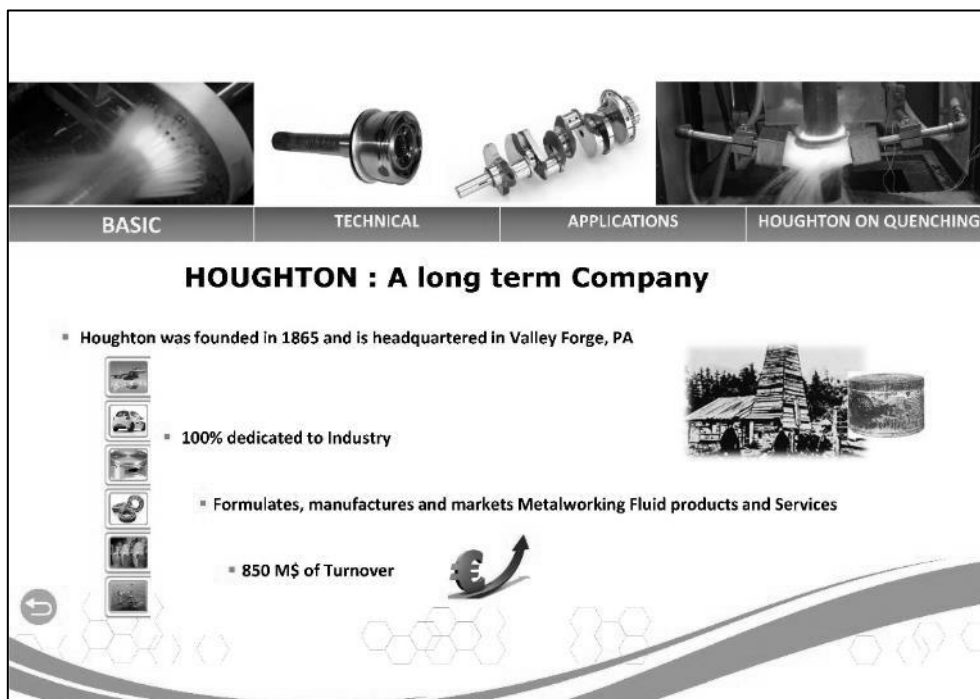
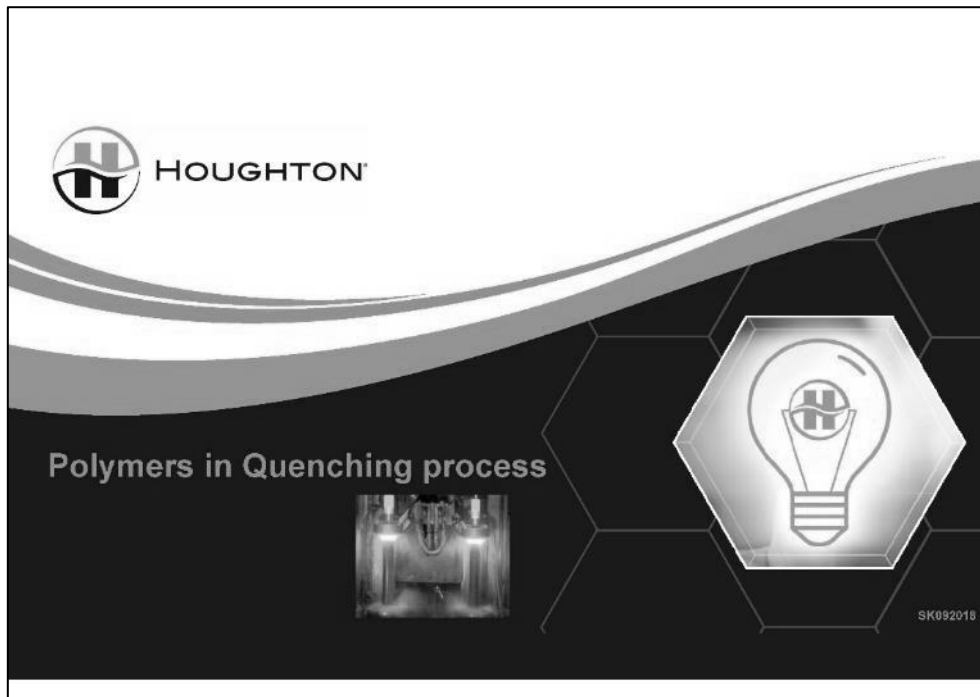
Ezen daraboknak kiváló a kifáradási határszilárdsága és kopásállósága.

KÖSZÖNJÜK A FIGYELMET

Polimerek az edzési folyamatban





Polymers in quenching process

Sebastian Kozdron¹, Pezenhoffer Balázs²



¹ Houghton, Lengyelország




² Houghton Magyarország Kft.




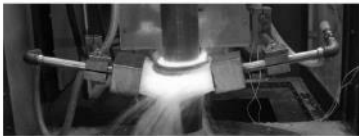
			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

HOUGHTON : The Supply security

- **11 manufacturing facilities in 10 countries across 5 continents (4 in Europe)**
 - Close to our customers
 - Short delivery time
- **A strong purchase department, large batch of production and big storage...**
- **More than 300 000 tones delivered each year**
 - 14% of the global market share of industrial lubricants
- **Over 2000 employees in 33 countries with sales in 79 countries**
- **High quality criteria**





Houghton's Global Facilities






			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

HOUGHTON : The Best Solution

- **11 R&D Center of Excellence to formulate best products**
- **A product Stewardship department**
- **The support of a local company**
 - Several Laboratories around Europe
 - Several technicians and engineers
- **A complete range of innovative products**

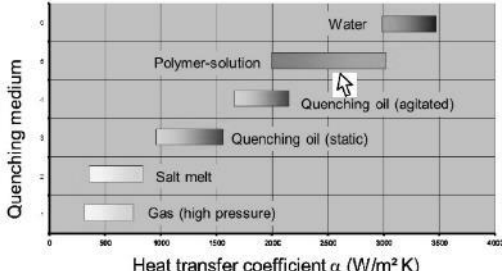
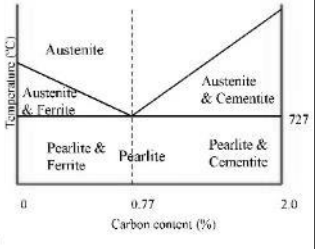



BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING
-------	-----------	--------------	-----------------------

QUENCHING PROCESS:


- *Cleaning operation**
- Heating parts at high temperature
 - 850°C to 920°C depending of steel
- Cool down in a quenching media
 - water, quenching oil, gas, salt melt, polymer quenchant
- *Cleaning operation**
- *Tempering operation to relax internal stresses**

** depending of customer process*









BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING
-------	-----------	--------------	-----------------------


Why polymers?



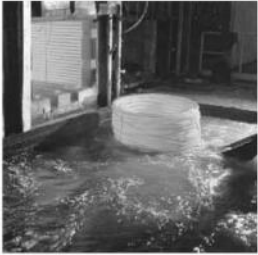
Enviromental	<ul style="list-style-type: none"> • No smoke and fumes • No need of protection equipment (fire extinguishing systems) • Lower fire insurance • No oily floors
Technical	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibility of quenching speed • Elimination of soft spots • Reduction of stresses and distortion • Tolerance to water contamination
Production	<ul style="list-style-type: none"> • Reduced cost • Easier cleaning • Reduced temperature rise during quenching


			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING





TYPE OF POLYMERS IN THE MARKET




- PAG (POLYALKYLENE GLYCOL)
- PVP (POLYVINYLYL PYRROILDONE)
- PAO (POLYETHYL OXAZOLINE)
- ACR (SODIUM POLYACRYLATE)





			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

Houghton portfolio of polymers





AEROSPACE
AMS 3025 Type I & II
Aqua-Quench 260
Aqua-Quench 251


APPROVED


COULD REPLACE QUENCHING OIL !!!

REACH 2018









BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING
<ul style="list-style-type: none"> • Boron Free • Formaldehyde Free • Bactericide Free • Nitrite Free • DEA Free <p>✓ Improve working condition</p>		<p>High bacteriologic stability = HSE</p> <p>No bactericide No Boron = HSE</p> <p>Waste reduction = cost</p>	<p>Optimal cooling performance = technical</p> <p>Excellent corrosion protection = Technical</p> <p>Low deposit = cost</p> <p>Good wettability = cost</p> <p>Lower consumption = cost</p> <p>Low labelling = HSE</p>
<p>Aqua-Quench® xx2</p>			<p>NEW SERIES</p>











BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING
<p style="text-align: center;">Formulation type for polymer</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Water ✓ Polymer (eg. PVP, PAG ..) ✓ Passivator (to avoid cooper corrosion for induction hardening) ✓ Anti-corrosion package ✓ Anti-foam ✓ Biocide 			

			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

Monitoring of polymers

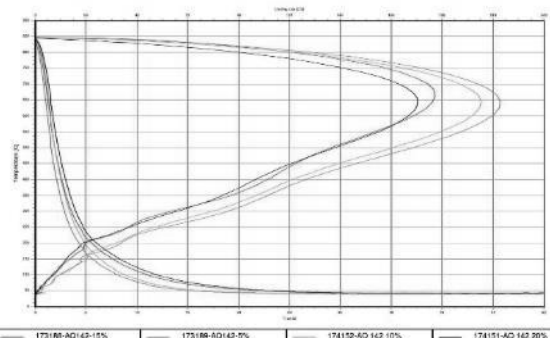
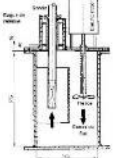

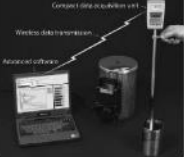

- ✓ CONCENTRATION by Viscosity measurement
- ✓ pH
- ✓ Microbiological analyse (Bacteria, Fungi, Yeast)
- ✓ Cooling curves (ESPECIALLY FOR Immersion quenching)










			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

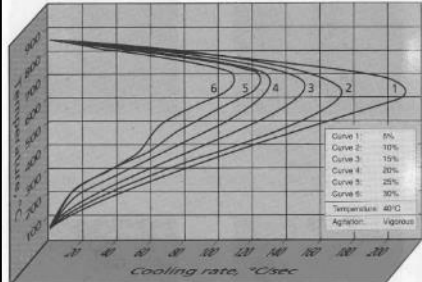
Cooling curve

ISO 9950 Standart
Inconel Probe
Tensi agitation device

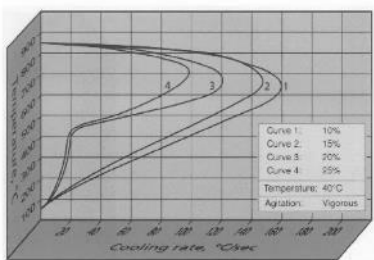





BASIC
TECHNICAL
APPLICATIONS
HOUGHTON ON QUENCHING




Influence of concentration




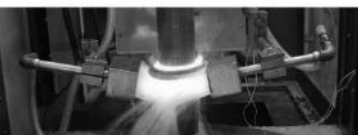
Fig. 29. PAG - The effect of concentration on quenching characteristics.



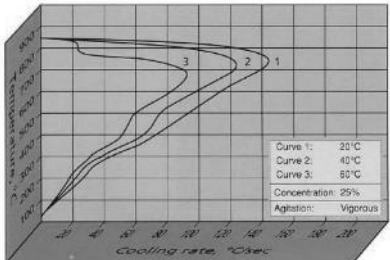
Influence of concentration

Fig. 46. PVP - The effect of concentration on quenching characteristics.



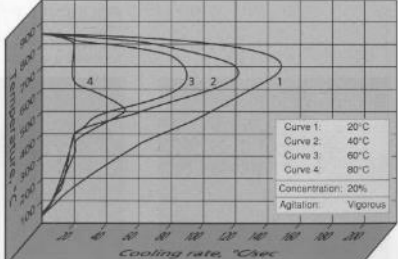





BASIC
TECHNICAL
APPLICATIONS
HOUGHTON ON QUENCHING




Influence of temperature

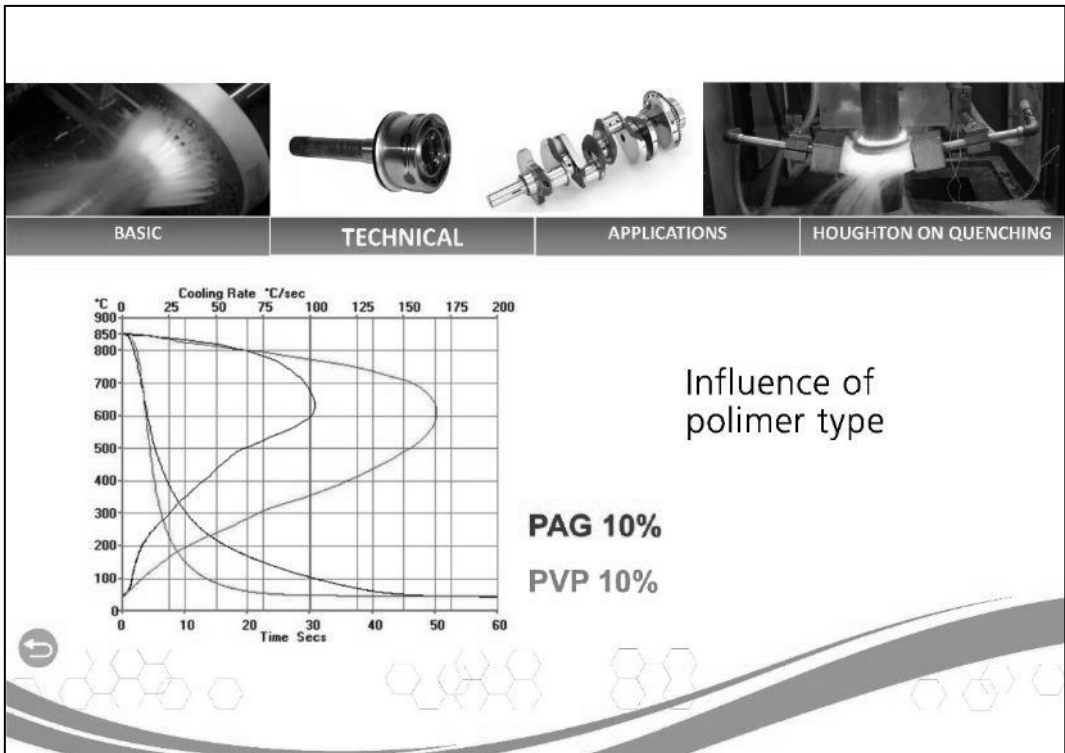
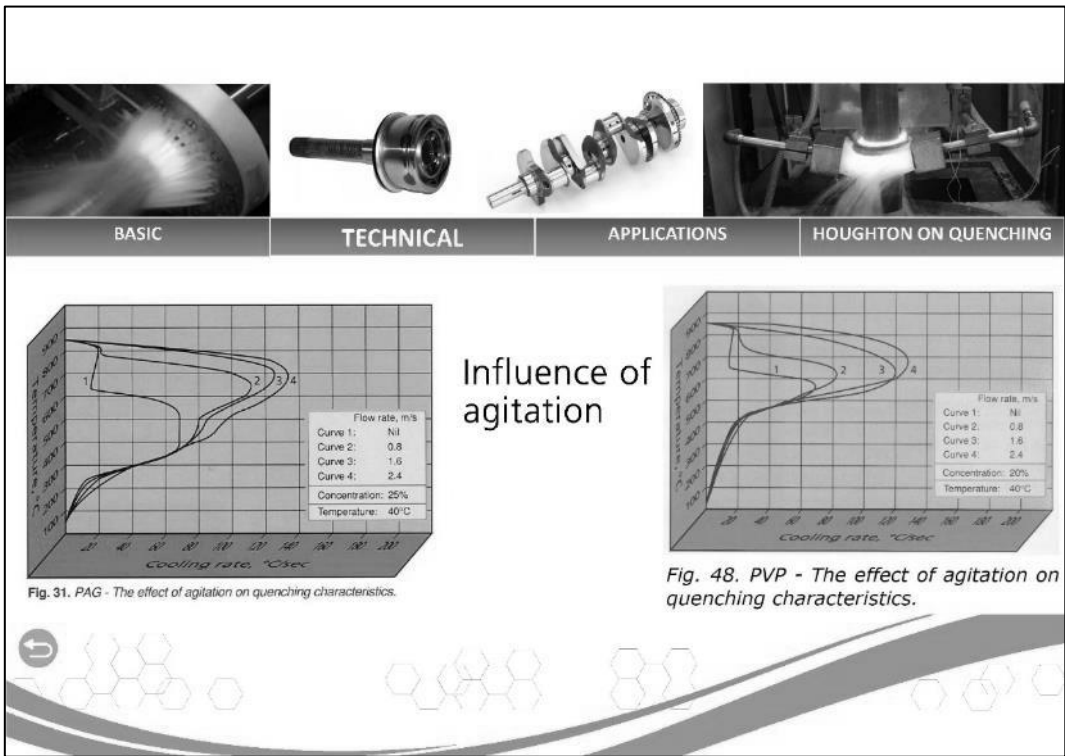
Fig. 30. PAG - The effect of temperature on quenching characteristics.



Influence of temperature

Fig. 47. PVP - The effect of temperature on quenching characteristics.





			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

Induction hardening / case hardening

- ✓ Tulips
- ✓ Shafts
- ✓ Cranshafts
- ✓ Camshafts
- ✓ Etc.












			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

Immersion hardening PAG

- ✓ Gas cylinders
- ✓ Bars
- ✓ Rings
- ✓ Wind turbine rings
- ✓ Etc.





















			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

Immersion hardening PVP


- ✓ Railway rails
- ✓ Semi-finished parts
- ✓ Shafts
- ✓ Wind turbine rings
- ✓ Etc.




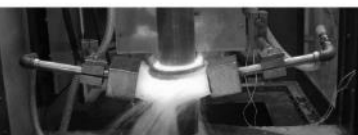










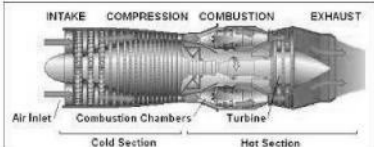
Wind Energy and Electric Vehicle Reveal









			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING

Aerospace parts



			
BASIC	TECHNICAL	APPLICATIONS	HOUGHTON ON QUENCHING







Köszönöm

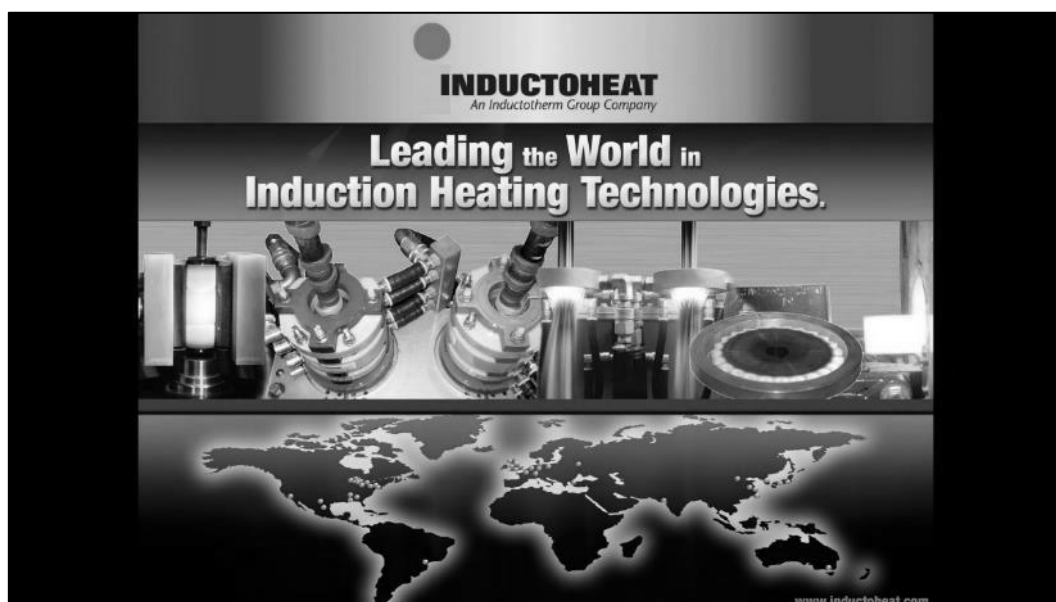
Kérdések
???



SK092018

Az IPAR 4.0 az indukciós edzési folyamatban
Industry 4.0 in the induction quenching process

Daniel Allmendinger¹, Farkas Árpád¹



¹ Inductoheat Europe GmbH, Németország

INDUCTOTHERM FURNACE GROUP

UNITED KINGDOM
Inductotherm Europe Ltd
[Address: Oxford, England]
[Address: Weston, Somerset]

SPAIN
Inductotherm S.A.
[Address: San Sebastian]

CANADA
Inductotherm Group Canada Corp.
[Address: Toronto, ON]
[Address: Mississauga, ON]
[Address: Cambridge, ON]
[Address: Montreal, QC]

UNITED STATES
Inductotherm Corp.
[Address: Houston, TX]
[Address: St. Louis, MO]
[Address: Cleveland, OH]
[Address: Columbus, GA]
[Address: Phoenix, AZ]

MEXICO
Inductotherm S.A. de C.V.
[Address: Queretaro]

BELGIUM
Inductotherm S.A.
[Address: Ruyven]

FRANCE
Inductotherm S.A.S.
[Address: Paris]

GERMANY
Inductotherm Deutschland GmbH
[Address: Wuppertal]

RUSSIA
Inductotherm Russia
[Address: Moscow]

KOREA
Inductotherm Korea, Ltd.
[Address: Ansan]

JAPAN
Inductotherm Japan Ltd.
[Address: Aichi]

CHINA
Inductotherm Group China Ltd.
[Address: Shanghai]
Inductotherm Group China Ltd.
[Address: Tianjin]

BRAZIL
Inductotherm Group Brazil, L.D.
[Address: Sao Paulo]

TURKEY
Inductotherm Indokasyon Sistemleri Sanayi A.S.
[Address: Istanbul]

INDIA
Inductotherm India Pvt. Ltd.
[Address: Bangalore]

INDONESIA
PT Inductotherm Indonesia
[Address: Jakarta]

TAIWAN
Inductotherm Taiwan Ltd.
[Address: Taipei]

AUSTRALIA
Inductotherm Pty. Ltd.
[Address: Sydney]

Manufacturing Facilities

Sales/Service/Agents

- Argentina
- Austria
- Bosnia & Herzegovina
- China
- Colombia
- Croatia
- Czech Republic
- Denmark
- Egypt
- Finland
- Hong Kong
- Hungary
- Italy
- Israel
- Japan
- Malaysia
- New Zealand
- Norway
- Poland
- Portugal
- Philippines
- France
- Portugal
- Guatemala
- Peru
- Philippines
- Poland
- Portugal
- Guatemala
- Peru
- Serbia & Montenegro
- Singapore
- Slovenia
- South Africa
- South Australia
- Sweden
- Sydney
- Thailand
- Vietnam
- Ukraine
- Western Australia

INDUCTOHEAT EUROPE
An Inductotherm Group Company

Mit csinálunk:

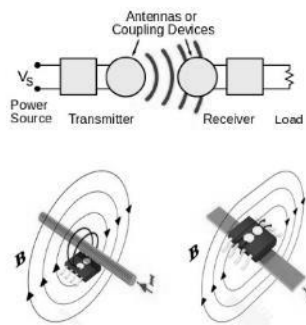
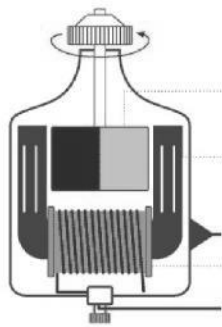


Az indukció alapötlete



INDUCTOHEAT EUROPE
An Inductotherm Group Company

Az indukció alapötlete



- Elektromágneses tér létrehozása
- Örvényáram indukálása

Érintkezés nélküli energiaátvitel

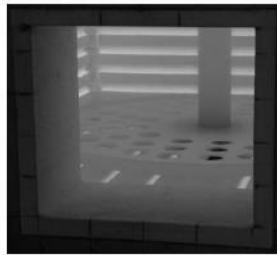


A koncepciók összehasonlítása

Indukciós edzés



Elektromos ellenállásfűtésű kemence

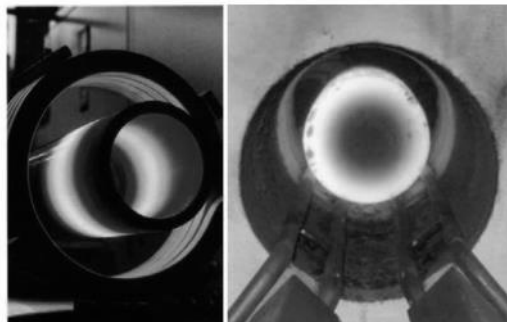
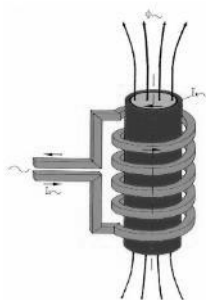


Magas teljesítmény sűrűség
 Hevítési sebesség > 1000°C / sec. lehetséges
 → **DIREKT** hevítése az anyagnak

Közepes teljesítmény sűrűség
 → Indirekt hevítés (sugárzással + hőátadással)



Az Indukciós hevítés alapelve

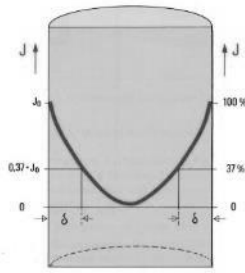
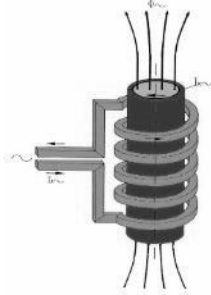


Áthevítés és a „skin” hatás



Quelle: RWE-Information Induktive Erwärmung

Frekvencia kiválasztása



Maxwell (harmonic)

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

Hőátadás

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

Hőforrás - eredet

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

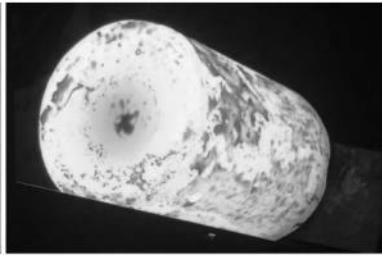
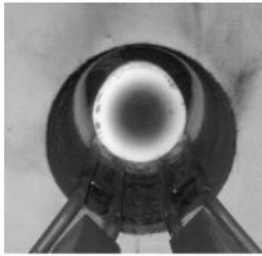
86 %-a a gerjesztett energiának az elektromágneses behatolás mélységében oszlik el

86 %
Power



Quelle: Leibniz Universität Hannover, ETP

„Skin” Hatás



Skin hatás

Hőátadás és áthévítés

86 %
Power



A megfelelő anyag kiválasztása

äußerer Vorgang und Temperatur	Raumtemperatur		Aufheizen		Halten bei Härte-temperatur		Abkühlen in Wasser		Raumtemperatur	
	Raumtemperatur		Aufheizen		Halten bei Härte-temperatur		Abkühlen in Wasser		Raumtemperatur	
Gefüge	Ferrit Perlit		Ferrit Perlit		Austenit		Martensit		Martensit	
Kristall-sufbau	Fe ₃ C Fe ₃ C Fe ₃ C Fe ₃ C		Fe ₃ C Fe ₃ C Fe ₃ C Fe ₃ C		C-Atome Fe ₃ C Fe ₃ C Fe ₃ C		C-Atome Fe ₃ C Fe ₃ C Fe ₃ C		C-Atome Fe ₃ C Fe ₃ C Fe ₃ C	
C-Gehalt	0%	0,4%	0,6%	0,8%	0,8%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%
Perlitanteil	0%	90%	75%	100%	100%	93% (1% Sek.-Zem.)	93% (1% Sek.-Zem.)	93% (1% Sek.-Zem.)	93% (1% Sek.-Zem.)	93% (1% Sek.-Zem.)
Gefüge	Ferrit	Ferrit Perlit	Ferrit Perlit	Ferrit Perlit	Ferrit Perlit	Perlit	Perlit	Perlit	Perlit	Perlit
Zugfestigkeit	ca. 200 N/mm ²	ca. 700 N/mm ²	ca. 850 N/mm ²	ca. 950 N/mm ²	ca. 1000 N/mm ²	ca. 1000 N/mm ²	ca. 1000 N/mm ²	ca. 1000 N/mm ²	ca. 1000 N/mm ²	ca. 1000 N/mm ²
Härte	ca. 100 HB	ca. 180 HB	ca. 220 HB	ca. 240 HB	ca. 240 HB	ca. 240 HB	ca. 240 HB	ca. 240 HB	ca. 240 HB	ca. 240 HB
Härtbarkeit	bis 0,35% nicht	steigende Härtbarkeit								

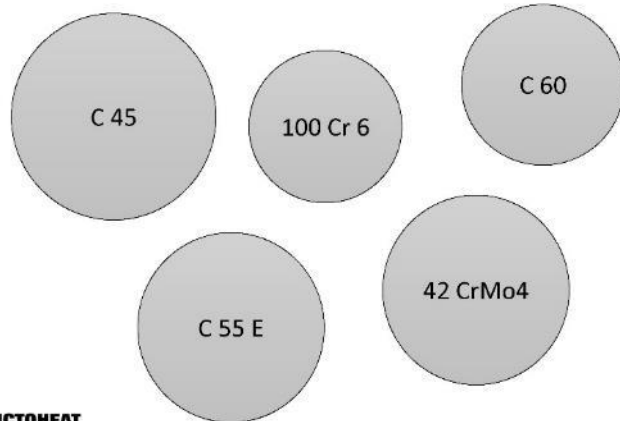
Carbon tartalom > 0.3 % szükséges az acél Indukciós edzéséhez!

Keménység javítás lehetséges, ha > 0.15 % C

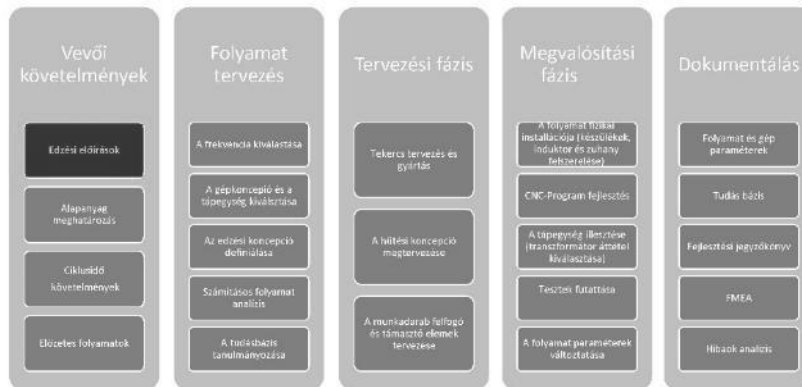
Nincs külsőleg hozzáadott carbon az indukciós edzés során



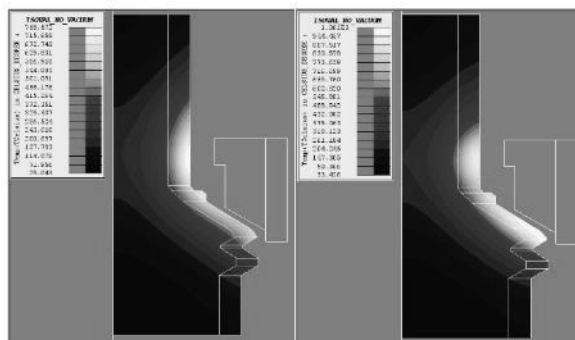
Tipikusan használt acélok az indukciós edzésnél



A folyamatfejlesztés összetevői

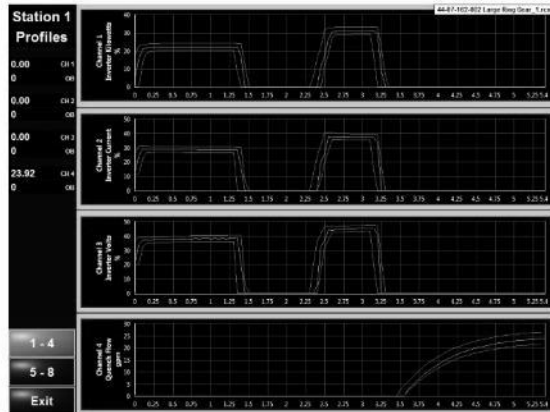


Számítógépes Modellre a hőkezelési - hevítési folyamatnak



- Elő-Analízis a hevítési folyamatra
- A hevítési folyamatok optimalizálása
- A kivitelezési idő csökkentése

Folyamat Megfigyelés



- Minden fontos paraméter valós idejű megfigyelése
- Dinamikus hatások észlelése a tekercsen, tápegységben és a zuhany rendszerben
- A koncentrátor elhasználódásának észlelése
- A duplán edzett darabok észlelése

INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

Vezérműtengely indukciós edzése

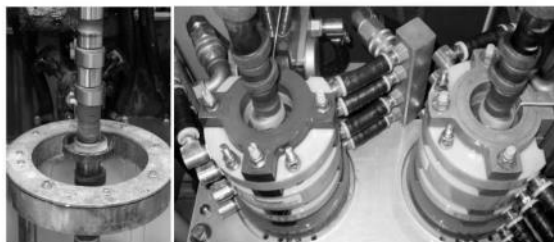


INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

A technológia kulcs koncepciója



- Körkörös single-shot tekercs használata
- A tekercs gyors vertikális pozícionálása
- Csak egy frekvencia használata
- A vezérműtengely forgatása mellett

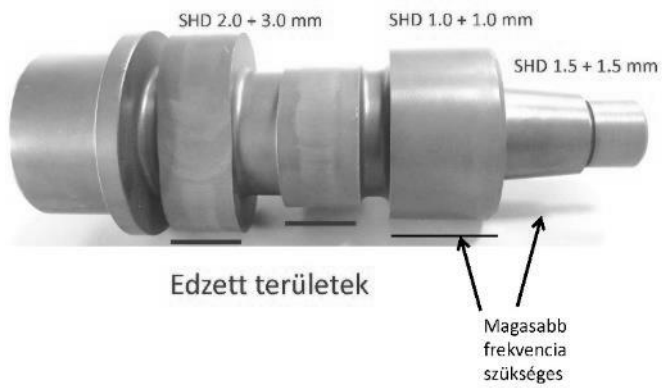


INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

Korszerű folyamat



IFP (változtatható frekvenciás) Vezérműtengely edzés --- Követelmények ---



IFP (változtatható frekvenciás) vezérműtengely edzés



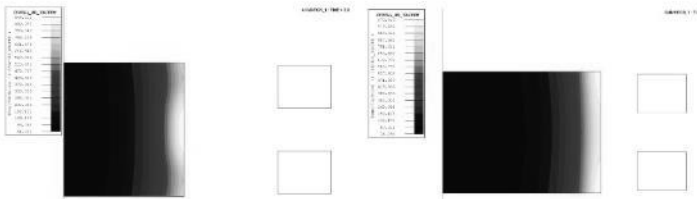
IFP (változtatható frekvenciás) Vezérműtengely edzés



- Edzési minta a keresztmetszetben vizsgálva RENDBEN
- Lágy folt a büttyök alsó lábukrén



IFP (változtatható frekvenciás) Vezérműtengely edzés



$\vartheta_{\text{surf,root}} = 850 \text{ °C at } f = 20 \text{ kHz}$

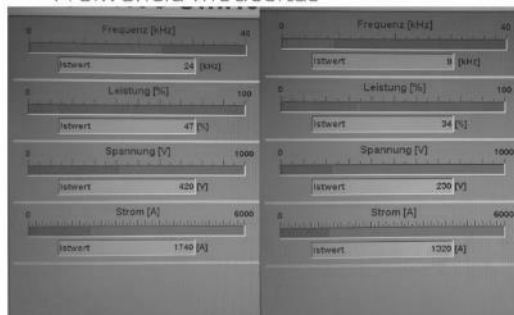
$\vartheta_{\text{surf,tip}} = 975 \text{ °C at } f = 20 \text{ kHz}$

- A frekvencia optimalizálása – a lehető legkisebb hőmérséklet eltéréshez a csúcsok és árkok között (20 kHz)
- Egy menetes induktor konstrukcióról 2 menetes induktor konstrukcióra váltás

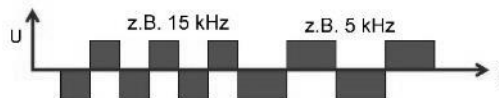


IFP (változtatható frekvenciás) Vezérműtengely edzés

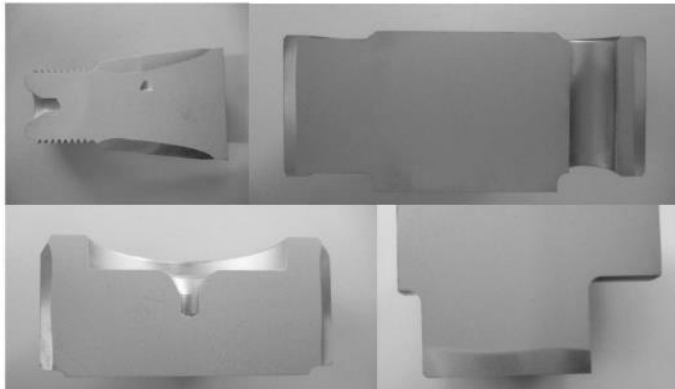
--- Frekvencia módosítás ---



A frekvencia és a teljesítmény folyamatosan változtatható a hevítési ciklusban tetszőleges értékekkel

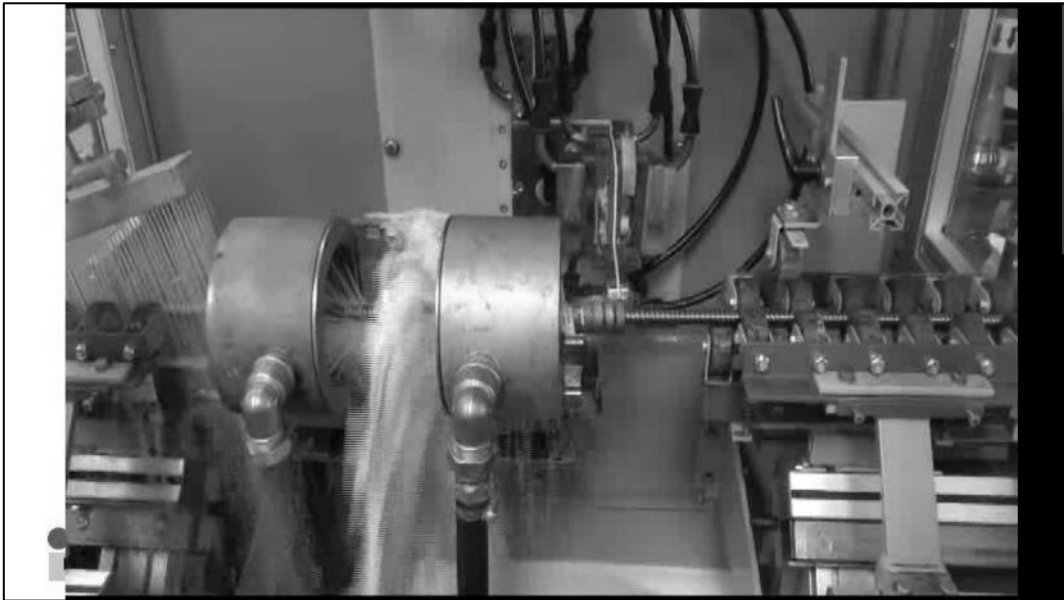


Eredmény az IFP (változtatható frekvenciás) edzés után



IFP (változtatható frekvenciás) Vezérműtengely edzés





Gömbfej edzés

A black and white photograph of a large industrial machine, likely used for spherical head processing. The machine has a complex structure with a control panel on the left and a large, open chamber in the center. To the right of the machine, two finished spherical head components are displayed. The machine is surrounded by safety railings and various mechanical parts.

INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

Gömbfej edzés



INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company



Gömbfej edzés

Edzés és megeresztés:

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



INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

Edzőberendezések áttekintése



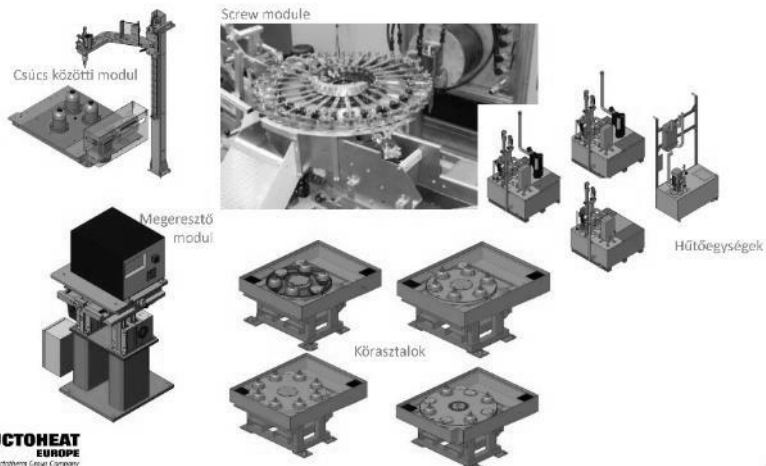
INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

Standard Edzőberendezések



INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

Modularis felépítés



INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

Internet és Ipar 4.0



INDUCTOHEAT
EUROPE
An Inductotherm Group Company

INDUCTOHEAT
An Inductotherm Group Company

**Leading the World in
Induction Heating Technologies.**



www.inductoheat.com

Nagy tömegű alumínium tekercs hőkezelésének optimalizálása számítógépes szimulációval

Optimizing the annealing parameters of bulk aluminium coils using computer aided simulation

Fehér Jánosné, Dr.¹, Dr. Bereczki Péter¹, Nagy Csaba¹

Absztrakt

Az hengerelt alumínium szalagtekercsekkel szemben támasztott minőségi követelmények az utóbbi években folyamatosan növekednek. Bizonyos elvárások kielégítéséhez a mechanikai és mikroszerkezeti tulajdonságok tekercsen belüli inhomogenitásának csökkentése szükséges. Ez egyrészt abban nyilvánul meg, hogy egy 6-8 tonnás tömegű szalagtekercsnél már nem csak az a hőkezelés célja, hogy a befejező fémhőmérséklet az elvárt limit legalsó határára essen, hanem, hogy a hideg- és a melegponton mért hőtartási időkülönbség a lehető legkisebb legyen. Előadásunkban a hőkezelési ciklusok vezérlésének és paraméterezésének számítógépes szimulációval és üzemi bemérésekkel történő optimalizálását mutatjuk be. Az optimalizálás célja az volt, hogy egy adott hőkezelési igényhez megtaláljuk a metallurgiai és energetikai szempontból legkedvezőbb kemence vezérlési módot és paraméterezést költséges üzemi próbahőkezelések alkalmazása nélkül.

Abstract

In recent years the quality requirements of aluminium coils are increasing continuously. To satisfy certain demands, it is necessary to decrease or eliminate the inhomogeneity of the mechanical and microstructural properties. Regarding to the annealing process of 6 to 8 tons weight coils, the aim of the heat treatment is not only adjusting the final load temperature to the lower limit of a prescribed range, but also minimizing the soak time difference between the hot and cold load of the coil. In this presentation the optimization process for setting up the control mode and the parameters of the coil annealing is presented using computer aided simulation and load temperature measurement in trial annealing cycles. The objective of the optimization process was to find the optimal control mode and parameters without doing numerous industrial trials with respect to the metallurgical and energetical requirements.

¹ Arconic-Köfém Kft.

Az aktív ernyő geometriai jellemzőinek hatása a plazmanitridált rétegre

Effect of the geometric characteristics of the active screen on the plasma nitrided layer

Kovács Dorina^{1*}, Kemény Alexandra¹, Dr. Dobránszky János²

Kivonat

A kutatás célja az aktív ernyős plazmanitridálásnál alkalmazott ernyő (háló) geometriai jellemzőinek, azaz a perforáltság lyukméretének, valamint a háló felületi telítettségének hatása a 42CrMo4 összetételű nemesíthető acélon kialakult nitridréteg tulajdonságaira. Ezek a változók összefüggésbe hozhatók a vegyületi réteg vastagságával, a diffúziós zónával, a felületi érdességgel és ebből következően a felület hullámosságával, továbbá a felületen kialakult nitridréteg morfológiai egységeinek méretével. Ezeknek a kiértékeléséhez pásztázó elektronmikroszkópot, mikrokeménységmérőt és atomerő-mikroszkópot használtunk. Az eredmények egyértelműen mutatják, hogy a rétegvastagság és a felület hullámossága érzékenyebb a háló telítettségére, mint a lyukátmérőre.

1. Bevezetés

A plazmanitridálás az ipar számos területén (autóipar, vegyipar stb.) alkalmazott termokémiai felületkezelés, amellyel kemény, kopásálló, egyes esetekben korrózióálló réteg hozható létre az alkatrész felszínén. Egyik eljárásváltozata az aktív ernyős plazmanitridálás, amelyet közel 30 éve egyre elterjedtebben használnak a világon. Ebben az elrendezésben a munkadarab elektromosan el van szigetelve az árambevezetés helyétől, a plazma a körülötte elhelyezett hálón képződik. A munkadarab hevítése sugárzással és a felületére áramlással eljutó plazmaösszetevők által történik. A háló, mint porlasztott katód felületéről nitrogén- és vasatomok, illetve -ionok szabadulnak fel, és a vákuumrendszer által kényszerített áramlásuk révén ezek biztosítják a minta nitridálásához szükséges elemek eljutását a munkadarab felületére.

Korábbi kutatások már bemutatták a hagyományos és az aktív ernyős plazmanitridálás közötti előnyöket és hátrányokat, nagy hangsúlyt fektetve az élhatás és az üreg katód jelenségére. Ahogyan ezekből a kutatásokból is látszik, a különböző nitridálási tényezők, úgymint hőmérséklet és idő, nagymértékben befolyásolják a kialakult nitridréteg keménységet és a felületi minőséget [1]. Többek, továbbfejlesztve ezeket a kísérleteket, már nem csak az alapváltozókat vizsgálták, hanem az aktív ernyő geometriáját is, ami leginkább a munkadarab és az ernyő közötti távolságot foglalja magába.

A következőkben néhány korábbi kutatás eredménye olvasható. Nishimoto és társai eleinte különböző rozsdamentes acélból készült aktív ernyővel dolgoztak. Csőből, fóliából, valamint dróthálóból készítettek ernyőket. Az első kettő perforáltsága kör keresztmetszetű, az míg utóbbi négyzet. Megfigyelték, hogy a háló lyukmérete kismértékben befolyásolja a felületi tulajdonságokat: csak a felületi érdesség csökkenését vették észre a huzalos hálóval nitridált próbatesteknél [2]. A későbbiekben vizsgálták az ernyő telítettségének befolyásolását, vagyis az ernyő teli és üres részeinek arányát. Rozsdamentes acélon végzett kísérletek után megfigyelték, hogy minél nagyobb a telítettség, annál vastagabb nitridált réteg keletkezik a felületen. Nem csak a vegyületi rétegre érvényes ez, hanem a keménységre is. Minél nagyobb a telítettség, annál nagyobb maximális keménységet értek el. A felépített elméleti modelljük szerint, a nagyobb telítettségénél a nitridálásban résztvevő részecskék megnőnek, mivel az ernyő lefedett részei közelebb vannak egymáshoz, így több leválasztott részecske jut a felületre [3].

Közkedvelt témakör az ernyő és a próbatest közötti távolság hatásának vizsgálata. Ezekben általában két lyukátmérőt használnak, azonban a hatásuk nem kimutatható, mivel két paraméter vizsgálata folyik egyszerre. Általános megállapítás, hogy minél közelebb van az ernyő a próbatesthez, annál vastagabb réteg hozható létre a felületen, valamint a keménysége is nagyobb [4–6].

¹ BME – Anyagtudomány és Technológia Tanszék; *dorina@eik.bme.hu

² MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

Nem csak a keménység és a rétegvastagság a meghatározó tényező, hanem ahogy egy korábbi kutatásnál említettem, a felületi érdesség is. Az aktív ernyős plazmanitridálás befolyásolja a felületi érdességet a bombázásnak köszönhetően. A hagyományos plazmanitridálásnál is fellép ez a jelenség a nitridálási idő növelésével. A nitridálás növeli a felületen kialakult morfológiai egységek – a továbbiakban: részecskék – méretét, amelyek különböző felületi morfológiát eredményeznek [7,8].

Kutatásunk célja a különböző aktív ernyők lyukátmérőjének és telítettségének vizsgálata és e tényezők hatásának megismerése a plazmanitridált réteg tulajdonságaira.

2. Plazmanitridálási kísérletek

A kísérleteket a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszékén található laboratóriumi berendezésen végeztük el, 42CrMo4 összetételű nemesíthető acélon. A próbatetek mérete $\varnothing 20 \times 6$ mm. A próbatetek felületét a darabolás után SiC szemcséjű csiszolópapíron csiszoltuk, majd 3 μm -es gyémántsuszpenzióval políroztuk. A polírozott felület a felületi érdesség változásának méréséhez elengedhetetlen.

A nitridáláshoz alkalmazott aktív ernyő ötvözetlen acélból készült, mérete $\varnothing 100 \times 85 \times 0,8$ mm. A perforáltságára vonatkozó értékek az 1. táblázatban láthatók a nitridálási körülményekkel együtt. A próbatetek minden esetben az aktív ernyő közepén helyezkedtek el, a tetejétől 35 mm-re. A hőmérsékletet K típusú termoelemmel mértük a próbatest alatti mintatartóban. Az állandó hőmérséklet a feszültséggel állítható, amely függ a háló telítettségétől.

1. táblázat: Plazmanitridálási körülmények

Minta	Lyuk (mm)	Telítettség (%)	Fesz. (V)	Áram. (I)	Hőm. (°C)	Idő (óra)	Nyomás (mbar)	Gáz keverék
d4,5	$\varnothing 4,5$	50	430	1				
d8	$\varnothing 8$	61	468	1				
d12	$\varnothing 12$	50	485	0,9				
d25	$\varnothing 25$	61	540	0,8				

A keménységmérést Vickers-mikrokeménységméréssel végeztük el 0,01 N terhelés mellett. A keresztcsiszolatokon a rétegvastagság-mérés pásztázó elektronmikroszkóppal készült, valamint a felületi érdességet Veeco atomerő-mikroszkóppal mértük. Utóbbi esetben $2 \times 2 \mu\text{m}$ és $10 \times 10 \mu\text{m}$ területeket vizsgáltunk. Az ISO 25178-2:2012 szabvány alapján a felületi érdességet és a hullámosságot az (1)–(3) képlet alapján számoltuk [9]. A felületen kialakult szemcseméretet Gwyddion 2.36 szoftver segítségével határoztuk meg.

$$S_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\eta_i| \quad (1)$$

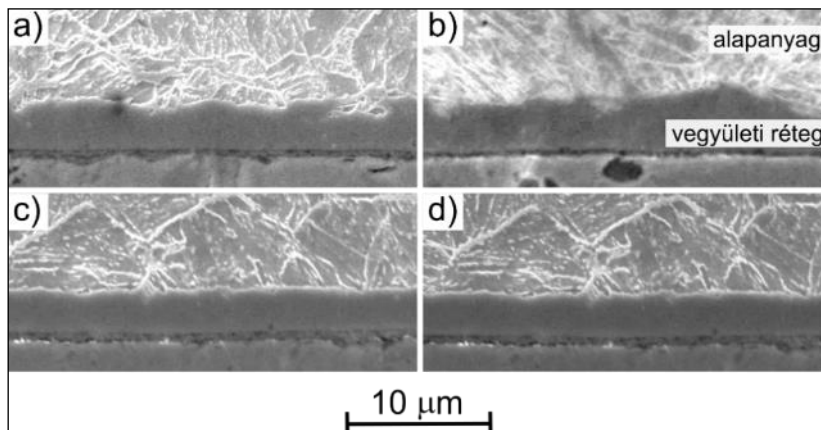
$$S_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_i^2} = \mu_2^{1/2} \quad (2)$$

$$S_{sk} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_i^3}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_i^2\right)^{3/2}} = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} \quad (3)$$

3. A vizsgálati eredmények és kiértékelésük

3.1. Rétegvastagság-mérés

A felületen képződött, 2 %-os Nital marószerral láthatóvá tett vegyületi réteg az 1. ábrán, a rétegvastagsága pedig a 2. táblázatban látható.



2. ábra: Különböző lyukátmérővel nitridált minták keresztcsiszolati képe.
a) d4,5; b) d12; c) d8; d) d25

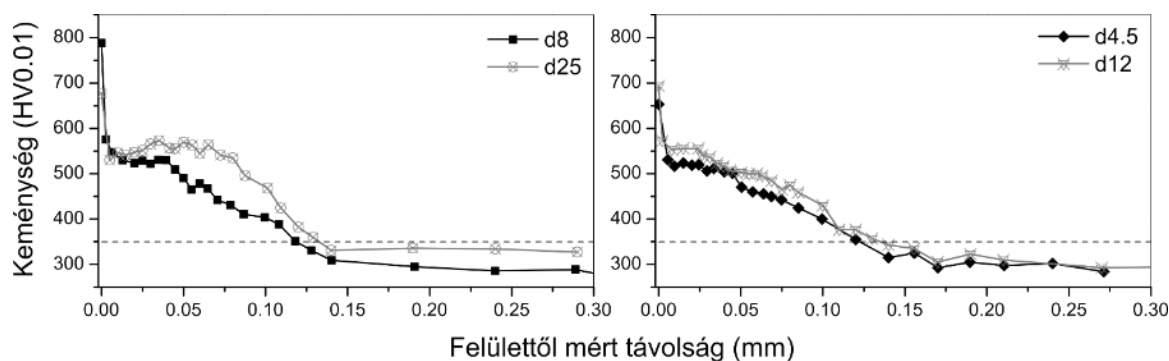
2. táblázat: A vegyületi réteg vastagsága

Minta	Telítettség (%)	Rétegvastagság (µm)
d4.5	50	3,6
d8	61	3,5
d12	50	4,0
d25	61	3,4

Az átlagos rétegvastagság 3–4 µm közötti. Ahogyan a táblázatból is látszik, a vegyületi réteg vastagsága inkább a telítettséggel korrelál. A legvastagabb réteg az 50 %-os telítettségű ernyőnél keletkezett. Megfigyelhető, hogy azonos telítettségben belül, különböző lyukátmérőnél a rétegvastagság eltér.

3.2. Keménységmérés

A keménységfutamási görbék a 2. ábrán láthatók. A szaggatott vonal jelzi a diffúziós zóna határát, melyet az ISO 18203:2016 szabvány szerint az anyag alapkeménysége + 50HV értékhez vettünk fel. A maximális keménységek és a diffúziós zónák nagyságát a 3. táblázat tartalmazza.



3. ábra: Keménységfutamási görbék a különböző lyukátmérővel nitridált próbatesteknél

3. táblázat: Maximális keménységi értékek és a diffúziós zónák nagysága

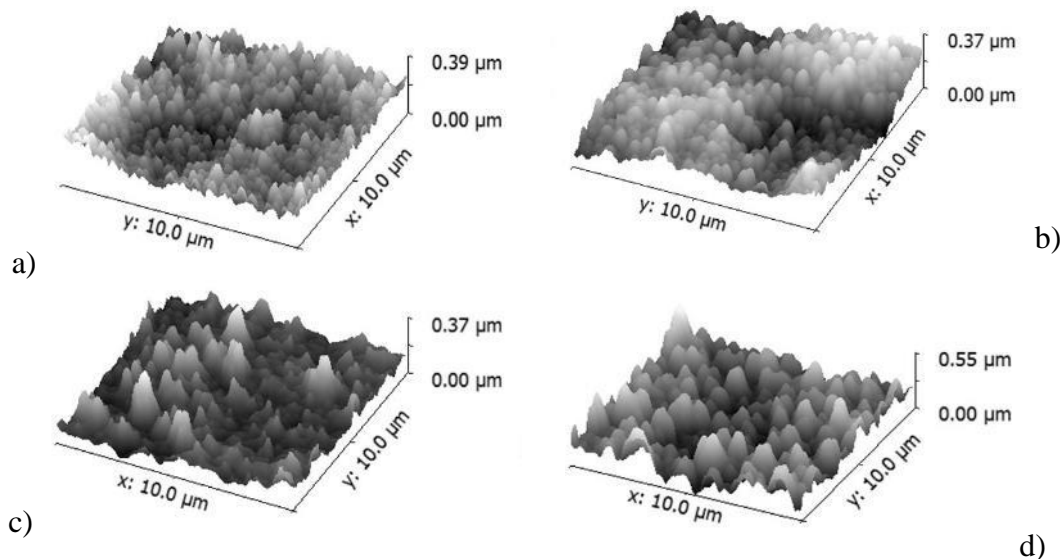
Minta	Max. keménység (HV)	Diffúziós zóna (μm)
d4.5	653	120
d8	788	118
d12	693	132
d25	677	130

A maximális keménységek eltérő eredményeket mutatnak mind a lyukátmérőre, mind az ernyő telítettségére nézve. Ezzel szemben a diffúziós zónánál látható, hogy azonos telítettségű értéken belül nagyobb lyukátmérővel, nagyobb diffúziós zóna érhető el. 50 %-os telítettségűnél a görbék jellege szinte ugyanolyan, míg a 61 %-os telítettségűnél teljesen eltérő.

3.3. Felületi érdesség

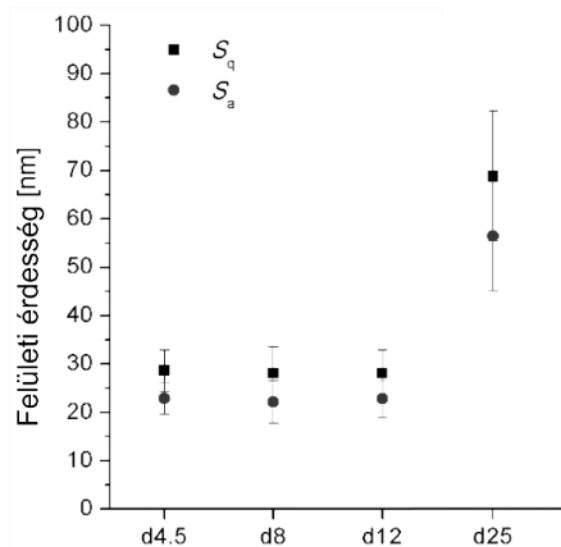
A 3. ábrán látható a felületen kialakult szemcsék AFM-topogramja $10 \times 10 \mu\text{m}$ -es felbontás mellett. A kialakult struktúra eltér a különböző mintáknál. Egyenletesnek mondható szemcseszerkezet látható az 50 %-os telítettségű ernyővel készült mintáknál, valamint láthatók kiemelkedő csúcosos és emellett völgyes szerkezet, a 61 %-os telítettségűnél.

A nitridálás okozta felületmódosítás miatt előzetesen egy polírozott minta felületi érdességét is megvizsgáltuk. A nitridált minták felületi érdessége a polírozotthoz képest 30–70-szeres növekedést mutatott, nagyban függve a lyukátmérőtől. Az átlagosan kialakult 3–4 μm -es réteghez képest, a felületen kialakult részecskeméret-különbségek csupán 150–250 nm-esek, tehát ez a rétegvastagság kevesebb mint 10 %-át érinti.



4. ábra: Atomerő-mikroszkóppal készített 3D felületi képek a különböző lyukátmérőjű aktív ernyővel készített minták felületéről, a d4,5 (a); d12 (b); d8 (c); d25 (d) jelű mintán

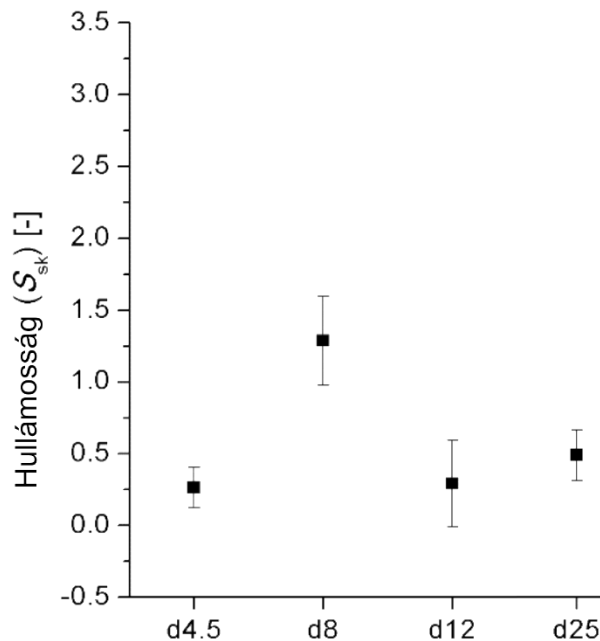
A mennyiségi elemzéseket a 4. ábra mutatja. A felületi érdesség kezdetben kevésbé, majd a d12-es minta után megugrik. A legnagyobb értéket a d25-ös mintánál mértük. Ez alapján levonható az a következtetés, hogy a felületi érdesség érzékenyebb a lyukátmérőre, mint az ernyő telítettségére.



5. ábra: A felületi érdesség (S_a , S_q) jellemzői a különböző jelű mintákon mérve

Mivel a felületen kialakult szemcsék között a csúcsok és a völgyek miatt nagy eltérések vannak, ezért hasznos információként szolgál a felület hullámosságának vizsgálata, amelynek eredményei az 5. ábrán láthatók. Általában az egyenletes felületek hullámossága 0-hoz közelít, a mélyedésekkel teli felület negatív tartományba, míg a kiemelkedések, csúcsok pozitív tartományba esnek, ami a mi méréseinkre is igaz.

Megfigyelhető, hogy az 50 %-os telítettségénél, mindkét lyukátmérő mellett a felületi érdesség is és a hullámosság is azonos, amíg a 61 %-os telítettség mellett ez nem mondható el. A d8-as jelű mintán a hullámosság nagyobb, ami azt jelenti, hogy kiugró csúcsok jelentek meg a felületen, ami a 3. ábrán is látható. Azonban ezek a nagyobb csúcsok egyensúlyban vannak a kisebb csúcsokkal, ami a felületi érdességet az átlagolás miatt lecsökkenti, így az egyenletesebb részecskeeloszlású d25-ös minta felületi érdessége nagyobb lesz.



6. ábra: A hullámosság (S_k) értékei a különböző jelű mintákon mérve

4. Összefoglalás

A lyukátmérő és az aktív ernyő telítettsége két meghatározó tényező a plazmanitridált réteg tulajdonságaira nézve. Az eredményekből megállapítható, hogy a nitridált réteg vastagsága elsősorban a telítettségtől függ. Az atomierő-mikroszkóppal végzett mérések azt mutatják, hogy a felületi érdesség nő a lyukátmérő növelésének függvényében, míg a felület hullámosságát a telítettség befolyásolja. A keménységmérés nem korreláltható egyik technológiai változóval sem.

Köszönetnyilvánítás



A kutatómunka az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Program támogatásával készült. Továbbá köszönettel tartozunk a Richter Gedeon Talentum Alapítványnak, Kovács Dorina kutatómunkájához való hozzájárulásért.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] S.B. Andrea, K.B. Mária, M.B. Mária, *Nitridálás – korszerű eljárások és vizsgálati módszerek Miskolc, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012.*
- [2] A. Nishimoto, A. Tokuda, K. Akamatsu, *Effect of Through Cage on Active Screen Plasma Nitriding Properties, Mater. Trans. 50 (2009) 1169–1173.*
- [3] A. Nishimoto, T. Matsukawa, H. Nii, *Effect of Screen Open Area on Active Screen Plasma Nitriding of Austenitic Stainless Steel, ISIJ Int. 54 (2014) 916–919.*
- [4] R.R.M. de Sousa, F.O. de Araújo, K.J.B. Ribeiro, M.W.D. Mendes, J.A.P. da Costa, C. Alves, *Cathodic cage nitriding of samples with different dimensions, Mater. Sci. Eng. A. 465 (2007) 223–227.*
- [5] M. Naeem, M. Shafiq, M. Zaka-ul-Islam, N. Nawaz, J.C. Díaz-Guillén, M. Zakaullah, *Effect of cathodic cage size on plasma nitriding of AISI 304 steel, Mater. Lett. 181 (2016) 78–81.*
- [6] A. Nishimoto, K. Nagatsuka, R. Narita, H. Nii, K. Akamatsu, *Effect of the distance between screen and sample on active screen plasma nitriding properties, Surf. Coatings Technol. 205 (2010) 8–11.*
- [7] Q. Wang, L. Zhang, H. Shen, *Microstructure analysis of plasma nitrided cast/forged CoCrMo alloys, Surf. Coatings Technol. 205 (2010) 2654–2660.*
- [8] P. Corengia, G. Ybarra, C. Moína, A. Cabo, E. Broitman, *Microstructural and topographical studies of DC-pulsed plasma nitrided AISI 4140 low-alloy steel, Surf. Coatings Technol. 200 (2005) 2391–2397.*
- [9] A. Bonyár, *AFM characterization of the shape of surface structures with localization factor, Micron. 87 (2016) 1–9.*

A plazmanitridálás hatásai a Ti-6Al-4V ELI orvosbiológiai anyagra

Effects of plasma nitriding on Ti-6Al-4V ELI biomedical material

Kemény Alexandra^{1*}, Kovács Dorina¹, Károly Dóra¹

Absztrakt

A titánt és ötvözeteit széleskörben alkalmazzák orvostechnikai készülékek és alkatrészek alapanyagaként. A Ti-6Al-4V ELI anyagot leggyakrabban kardiovaszkuláris, fogászati, ortopédiai és gerincimplantátumként használják, mivel jó biokompatibilitással, megmunkálhatósággal és korrózióállósággal rendelkezik. Hátránya, hogy kis keménységgel és kopásállósággal bír, tehát szükséges valamilyen felületmódosítást alkalmazni. A plazmanitridálás egy termokémiai felületkezelő eljárás, amellyel a felület keménységét és kopásállóságát növelhetjük. A kutatás célja a plazmanitridálás hatásainak vizsgálata a felületi keménység és a korróziós sebesség meghatározásával 0,9 m/m%-os NaCl oldatban.

Bevezetés

Az orvostechnikai anyagok fejlesztése nagy fontosságú napjainkban. Orvosi tisztaságú titánt (Grade 2 és Grade 4 Ti), valamint Ti-6Al-4V ELI ötvözetet (Grade 23) orvosi eszközök és implantátumok alapanyagaként használják [1]. A titán széles alkalmazási területe magyarázza az alkalmazható különböző felületi kezeléseket és módosításokat. Egyes eljárásokkal csak a felület tulajdonságai befolyásolhatók, míg másokkal az anyag teljes mikroszerkezete megváltozik [2].

Titán és ötvözeteinek nitridálásakor $TiN + Ti_2N + \alpha Ti(N)$ alakul ki a felső rétegben, amely megnöveli a felületi érdességet [2,3]. Orvostechnikai vonatkozásban kiemelendő, hogy vizsgálatok alapján a sejtek életképessége 5 nap után a nitridált felületű fémeken nagyobb [4].

Több kutatócsoport is beszámolt a titán különböző nitridálási paramétereinek hatásairól. Yıldız és munkatársai kutatásában 9 különböző kezelési idő (1 - 4 h) és hőmérséklet (650 - 750°C) kombináció minden esetben TiN és Ti_2N -et tartalmazó vegyületi réteget mutattak ki. A korróziós ellenállása a nitridált mintáknak Ringer oldatban 37°C-on a nitridálási idő növekedésével javult, azonban a kezelési hőmérséklettel való összefüggést nem vizsgálták [5]. Sobiecki és munkatársai kimutatták, hogy a plazmanitridált (3 - 12 h, 800°C) Ti-1Al-1Mn ötvözetnek nagyobb korróziós ellenállása van, mint a kezeletlen anyagnak 0,5 M NaCl oldatban [3]. Hosseini és Ahmadi kutatásuk során megfigyelték, hogy növekvő kezelési idő (2 - 10 h) és hőmérséklet (700 - 850°C) mellett a vegyületi réteg vastagsága és keménysége is nő [6]. Ezek a kutatási eredmények jelentős keménységnövekedést mutatnak a felületen, azonban a titán nagy hőmérsékletű plazmanitridálásakor az alapanyag degradálódik. Ez a probléma kiküszöbölhető az úgynevezett kis hőmérsékletű plazmanitridálással, amely a titánnál 600°C alatti hőmérsékletet feltételez [7].

Kiemelten fontos az orvostechnikai anyagok korróziós tulajdonságainak pontos ismerete és a hozzájuk kapcsolódó szabványok ismerete is. A korrózióknak számos hatása lehet az emberi testre, ezért fontos ismerni a vért modellező különböző oldatok összetételét [8]. A fémeknek az emberi testben lejátszódó korróziója révén fémionok jutnak az implantátumot körülvevő szövetekbe és a vérkeringésbe [9].

Az előzőeknek megfelelően elterjedt a titán ötvözetek korróziós vizsgálata különböző oldatokban. Több kutatás is foglalkozik implantátumanyagok vizsgálatával különböző mesterséges nyálakban [10,11]. Ylbas és munkatársai publikációjukban beszámoltak arról, hogy 1 M H_2SO_4 és 0,5 M NaCl oldatokban 25°C-on a PVD bevonatos Ti-6Al-4V próbatesszt korróziós ellenállása javult a nem kezelt képest, míg a nitridált próbatesszt rosszabb eredményeket mutatott. A nitridálási időről, a vegyületi réteg összetételéről és az aktív ernyő anyagáról adatokat nem közöltek [12]. Galvanetto és kutatócsoportja arról számolt be, hogy 0,1 M és 4 M HCl oldatban szobahőmérsékleten a plazmanitridált (DCPN 2 – 8h és 700 – 900°C) próbatesszt lassabban oxidálódnak, mint a nem kezelt Ti-6Al-4V próbatesszt [13]. Fossati és munkatársai 4 M HNO_3 oldatban végeztek kísérleteket szobahőmérsékleten. Ebben az oldatban a plazmanitridált (DCPN 6 h és 700 – 900°C) Ti-6Al-4V

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék
* alexandra.kemeny@edu.bme.hu

próbatestek gyorsabban oxidálódtak, mint a nem kezelt ötvözet. Továbbá megfigyelték, hogy a Ti₂N réteg korrózióállósága jobb, mint a TiN rétege [14].

Habár számos kutatási eredmény áll rendelkezésre, a szakirodalomban sok esetben a korróziós oldat eltér az általunk használt 0,9 m/m%-os NaCl-tól vagy a plazmanitridálási körülmények (gázáram, idő, hőmérséklet stb.) nem meghatározottak.

Eszközök és módszerek

A kutatás során a Ti-6Al-4V ELI anyagú, Ø20×6 mm méretű próbatesteken hagyományos (DCPN) és aktív ernyős (ASPN) plazmanitridálást végeztünk, amelynek paramétereit az 1. táblázat mutatja be. Az aktív ernyők anyaga ASTM 1.0330 ötvözetlen acél, illetve Grade 2 Ti volt, méretei Ø100 × 82,5 mm, lyukmérete: Ø18 mm.

1. táblázat: A nitridálás paramétereit

Kezelési idő	Hőmérséklet	Nyomás	Gázkeverék	Gázáram
4 h	500°C	3 mbar	75% N ₂ – 25% H ₂	1 l/min

A titánt bioinert anyagként ismerjük, ezen tulajdonsága miatt is használjuk implantátumok anyagaként. Azonban az nem igaz, hogy létezik teljesen bioinert anyag, ugyanis biokorrózió fellépésekor fémionok kerülnek az emberi szervezetbe. A fellépő korrózió ellenére a Grade 23 titánnak jellemzően kisebb a korróziósebessége, mint 0,02 mm/év az emberi szervezetben, amely szignifikánsan kisebb, mint az általánosságban megengedett maximum 0,13 mm/év biokompatibilis anyagokra [15]. A Ti-6Al-4V ELI egy α – β stabil ötvözet, ahol mindkét fázis megjelenik. 882,3°C-ig a titán hexagonális rácsú (α fázis), felette pedig térben középpontos köbös rácsszerkezetű (β fázis). Az α fázist az alumínium, míg a β fázist a vanádium stabilizálja, ezért mindkettő fázis megjelenik szobahőmérsékleten [16].

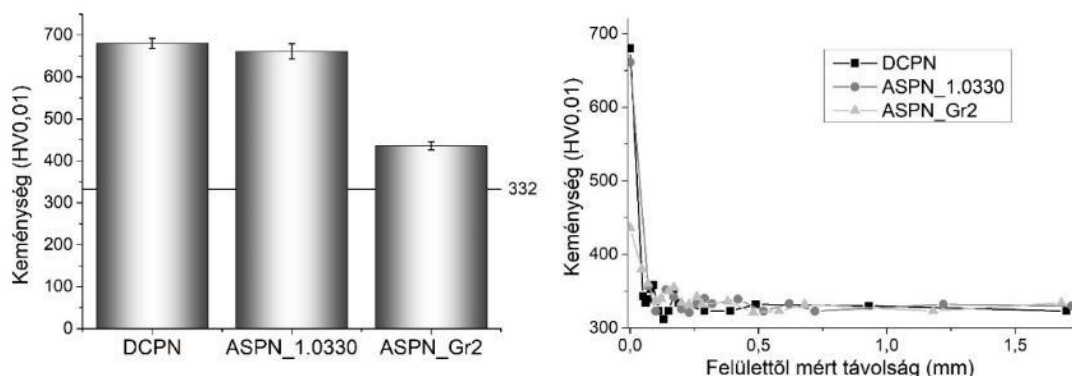
A korróziós méréseket BioLogic SP-150 potenciosztát segítségével végeztük három elektróddal. A munkaelektrod a próbatest volt, továbbá platina ellenelektrodot és túltelített KCl kalomel referencia elektródot alkalmaztunk szobahőmérsékletű 0,9 m/m%-os NaCl oldatban 24 h bemelegítési idővel. A Tafel-görbék felvétele ±2,5 V feszültségintervallumban történt. A mérések során a mintákat epoxigyantába ágyaztuk, a feszültség hozzávezetéshez szigetelt rézvezetékkel alkalmaztunk.

Felületi analízist energiadiszperzív röntgenspektrometriával (EDS) végeztünk Zeiss EVO MA 10 pásztázó elektronmikroszkópon. A felületi felvételek 20 kV gyorsítófeszültséggel készültek.

A felületi és keresztmetszeti keménységméréshez Buehler IndentaMet 1105 mikrokeménységmérő berendezést használtunk 50 g terheléssel 11 s terhelési idővel Vickers fejjel.

Eredmények

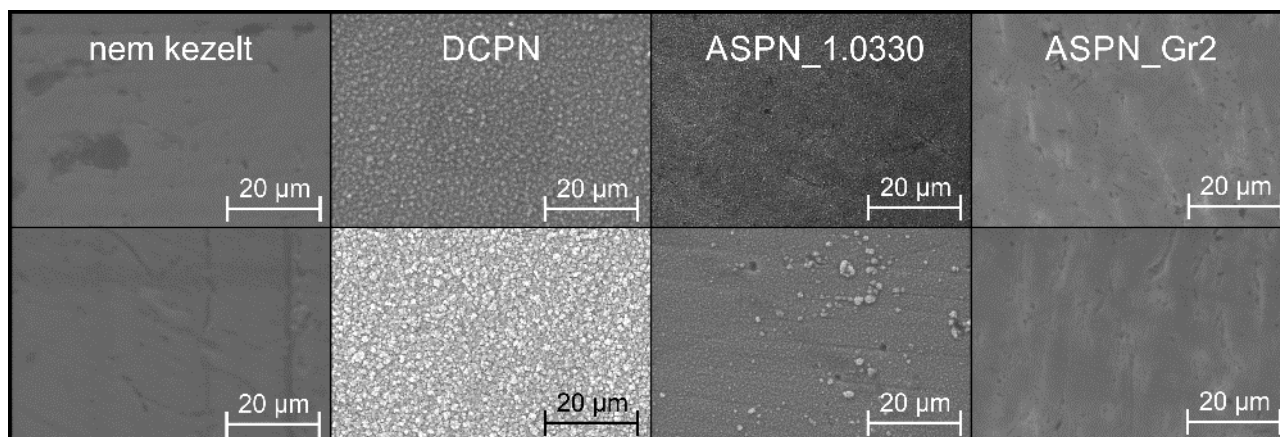
A vizsgált minták felületi keménységét és keménységlefutását az 1. ábra mutatja.



7. ábra: A mért felületi keménység értékek (balra) és keresztmetszeti keménységlefutás (jobbra)

A mérések alapján látható, hogy a titán minták keménysége igen hamar lecsökken a felületen mért értékekhez képest, vagyis a diffúziós zóna kicsi. A kezelési idő növelésével a kemény réteg megnövelhető. Erre különösen az ASPN_Gr2 esetében lehet szükség.

Az egyes mintákon jól összehasonlítható a korróziós vizsgálat előtti és utáni állapot közötti különbség (2. ábra). Fontos megemlíteni, hogy a nitridált mintákon eltérések mutatkoztak a felületi topográfiában és a korrózió megjelenésében is a próbatetek különböző pontjain.



8. ábra: Pásztázó elektronmikroszkóppal készített felvételek a titán mintákról korróziós mérés előtt (fent) és után (lent)

A felvételeken látható, hogy a DCPN és ASPN_1.0330 mintákon durvább felület alakult ki, mint a másik két próbatesten, továbbá az ASPN_1.0330 mintán lyukkorróziós nyomokat lehet felfedezni. A nem kezelt és az ASPN_Gr2 próbatesteken jelentős különbség nem figyelhető meg a korrózió előtti és utáni mérések között, noha a felület textúrája nem egyenletes. Ez abból következhet, hogy a titánt nehéz mechanikus úton polírozni.

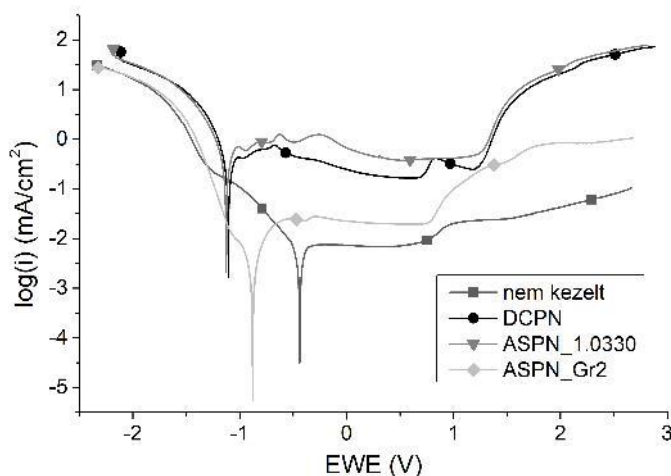
Az EDS mérések eredményét mutatja a 2. táblázat.

2. táblázat: A próbatetek anyagösszetétele korróziós teszt előtt és 24 óra bemelegítési idő után

Elem (m/m%)	nem kezelt		DCPN		ASPN_1.0330		ASPN_Gr2	
	vizsgálat előtt	24 h után	vizsgálat előtt	24 h után	vizsgálat előtt	24 h után	vizsgálat előtt	24 h után
Ti	83,18	81,11	72,77	64,97	11,19	10,42	85,21	67,59
Al	6,10	6,10	4,56	4,27	0,18	0,15	6,72	5,31
V	4,33	4,03	3,35	3,19	0,91	0,75	3,77	2,70
O	6,15	8,31	10,55	15,00	7,34	5,85	-	17,42
Si	0,24	0,45	-	0,92	-	1,61	1,14	0,68
N	-	-	7,47	6,60	7,40	5,90	3,16	5,34
Fe	-	-	1,30	5,05	72,98	74,21	-	-
Na	-	-	-	-	-	0,61	-	0,95
Mn	-	-	-	-	-	0,50	-	-

Megfigyelhető, hogy a legkisebb változás a nem kezelt mintán látható, viszont az ASPN_1.0330 mintán jelentős vas található a felületen (2. táblázat), amely alátámasztja a mikroszkópos felvételeken megfigyelhető lyukkorróziót. A vas feltehetőleg az ötvözetlen acél aktív ernyőről került a mintára. A Ti6Al4V_ASPN_2 mintán ezzel összhangban nem található vas.

A próbatestek 24 óra bemeztés után kapott Tafel-görbéit mutatja a 3. ábra.



9. ábra: A vizsgált minták Tafel-görbéi 24 óra bemeztés után 0,9 m/m%-os NaCl oldatban

A Tafel-görbékről leolvasott eredmények alapján meghatározható a korróziósebesség (3. táblázat).

3. táblázat: A vizsgált minták korróziósebességeinek összehasonlítása 24 óra bemeztés után

Minta jele	Paraméterek		
	E_{corr} (mV)	I_{corr} (μ A)	v_{corr} (mm/év)
nem kezelt	-445,331	2,592	0,0217
DCPN	-1099,855	160,062	0,7720
ASP_N_1.0330	-1138,024	251,860	1,4566
ASP_N_Gr2	-880,559	6,667	0,0542

Összefoglalva, korróziós szempontból a vizsgált minták közül a nem kezelt próbatest bizonyult a legjobbnak, viszont ezt közvetlenül követte az ASP_N_Gr2 próbatest, amelynek nemcsak a korróziós tulajdonságai kiemelkedők, hanem keménysége is növekedett a nitridálás hatására.

Következtetések

A kutatás kimutatta, hogy megfelelő paraméterekkel a plazmanitridálási eljárás alkalmas a Ti-6Al-4V ELI anyag mechanikai tulajdonságainak javítására a biokompatibilitás megőrzése mellett, ehhez azonban mindenképp titán alapanyagú ernyőt szükséges alkalmazni, amely nagy költségekkel jár.

Köszönetnyilvánítás



A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Irodalom

- [1] Goharian A: *Trauma plating systems*. 1st ed. Amsterdam (Netherlands): Elsevier; 2017. Chapter 1.4, Clinical Concepts; p. 183-881.
- [2] Xuanyong L - Paul KC - Chuanxian D: *Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications*. *Mater Sci Eng R Rep*. 2005 Jan 13;47:49-121.
- [3] Sobiecki JR - Wierzchon T - Rudnicki J: *The influence of glow discharge nitriding, oxynitriding and carbonitriding on surface modification of Ti-1Al-1Mn titanium alloy*. *Vacuum*. 2002;64:41-46.
- [4] Samanta A et al: *Nano- and micro-tribological behaviours of plasma nitrided Ti6Al4V alloys*. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018;77:267-294.
- [5] Yildiz F et al: *Plasma nitriding behaviour of Ti6Al4V orthopaedic alloy*. *Surf Coat Technol*. 2007 Aug 16;202:2471-2476
- [6] Hosseini SR - Ahmadi A: *Evaluation of the effects of plasma nitriding temperature and time on the characterisation of Ti 6Al 4V alloy*. *Vacuum*. 2012 Jun 7;87:30-39.
- [7] Mubarak Ali M et al: *Influence of plasma nitriding on fretting wear behaviour of Ti-6Al-4V*. *Tribol Int*. 2009 May 27;43:152-160.
- [8] Asri RI et al: *Corrosion and surface modification on biocompatible metals: A review*. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2017 Apr 20;77:1261-1274.
- [9] Cadosch D et al: *Metal is not inert: Role of metal ions released by biocorrosion is aseptic loosening – Current concepts*. *J Biomed Mater Res*. 2009 Oct 16;91A:1252-1262.
- [10] Dilea M et al: *Comparison between corrosion behaviour of implant alloys Ti6Al7Nb and Ti6Al4Zr in artificial saliva*. *Mater Corros*. 2013;64(6):493-499.
- [11] Gunawarman et al: *Corrosion resistance of new beta type titanium alloy, Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr in artificial saliva solution*. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng*. 2018;352:[7 p].
- [12] Yilbas BS et al: *A study of the corrosion properties of TiN coated and nitrided Ti-6Al-4V*. *Corros Sci*. 1995;37(10):1627-1636.
- [13] Galvanetto E et al: *Corrosion resistance properties of plasma nitrided Ti-6Al-4V alloy in hydrochloric acid solutions*. *Corros Sci*. 2002;44:1593-1606.
- [14] Fossati A et al: *Corrosion resistance properties of plasma nitrided Ti-6Al-4V alloy in nitric acid solutions*. *Corros Sci*. 2004;46:917-927.
- [15] Wood MM - Warshaw EM: *Hypersensitivity reactions to titanium: diagnosis and management*. *Dermatitis*. 2015 Jan-Feb;26(1):7-25.
- [16] Polmear I et al: *Light alloys: metallurgy of the light metals*. 5th ed. Butterworth-Heinemann;2017. Chapter 7, Titanium Alloys; p. 369-460.

Duális képzés a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán

Dual training at the Faculty of Materials Science and Engineering of the University of Miskolc

Dr. Mende Tamás¹

Bevezetés

A magyar gazdaságban, és különösen az iparban az elmúlt években tapasztalható jelentős –szakképzett–munkaerőhiány hosszútávú csökkentése érdekében 2015-ben indult el az ún. duális képzés a hazai felsőoktatásban. A Miskolci Egyetem három Karán (Műszaki Anyagtudományi Kar, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gazdaságtudományi Kar), összesen 9 alapszakon, országosan az elsők között és az egyik legnagyobb kapcsolódott partnervállalati háttérrel kezdett az első duális képzésben résztvevő évfolyam.

Az azóta eltelt években mind a duális képzésben résztvevő Karok (Műszaki Földtudományi Kar), mind a duális képzés keretében indított alap- és mesterszakok, mind a kapcsolódott partnervállalatok száma is jelentősen növekedett.

A Miskolci Egyetemen a duális képzések nagyszámú meghirdetésére a lehetőséget –többek között– az egyetem hagyományosan meglévő, de egyben folyamatosan erősödő és fejlődő ipari-gazdasági kapcsolatrendszere teremtette meg.

Mi az a duális képzés?

A duális képzés egy négy szereplős rendszer, melyben mindegyik félnek jól meghatározott feladata és felelőssége van a megfelelő működés érdekében. A négy szereplő: (1) az állam, (2) a vállalatok, (3) a felsőoktatási intézmények, valamint (4) a hallgatók. Az **állam** hivatott kidolgozni, valamint biztosítani a megfelelő keretrendszerét és jogszabályi háttérét a duális képzésnek, az államnak kell működtetnie a képzést felügyelő szervet (Oktatási Hivatal, Duális Képzési Tanács), az államnak kell adó- és egyéb kedvezmények formájában motiválni az ipari szereplőket, valamint az államnak kell a tapasztalatok birtokában a szükséges változtatásokat, módosításokat véghez vinni.

A duális képzés **elhivatott iparvállalatok** nélkül értelmetlen lenne, hiszen náluk látszik először a szakképzett munkaerő utánpótlásának hiánya. A vállalatoknak kell megmondani azt, hogy pontosan mit várnak el egy pályakezdő mérnöktől, milyen ismeretekkel, kompetenciákkal kell feltétlenül rendelkeznie az adott munkakör betöltéséhez, melyek azon képességei a hallgatóknak, amelyeket a korábbiaknál is hatékonyabban kell oktatni, fejleszteni. A vállalatnak a szakma gyakorlati ismereteinek lehető legjobb elsajátítása érdekében az adott szak tantervéhez (félévről-félévre) szorosan illeszkedő képzési tervet kell készítenie. A vállalatnak kell a képzésben résztvevő hallgató fizetését kigazdálkodnia, valamint a hallgató színvonalas képzését a vállalati környezetben biztosítani. Arra is látunk példát (Miskolci Egyetem, Öntészeti Intézet), hogy a vállalati összefogás az adott szakterület (öntészeti specializációjú anyagmérnök képzés) egyetemi képzéséhez jelentős anyagi támogatással is hozzájárul, biztosítva ezzel a valóban minőségi oktatás (*tárgyi és személyi*) feltételeit.

A **felsőoktatási intézmények** szerepe a duális képzésben a képzésnek megfelelő szakterületen a vállalatok felkutatása és bevonása a képzésbe, a vállalati képzési tervek készítésében aktív támogató részvétel. Az egyetem feladata az adott szakterületű duális képzés összefogása, koordinálása, és természetesen az egyetem feladata továbbra is az elméletei (és eszközparktól függően minél több gyakorlati) ismeretek magas színvonalú átadása a hallgatók számára.

A duális képzés legfontosabb láncszeme egyértelműen a **hallgató**. Motivált, elkötelezett, tanulni és dolgozni vágyó hallgató nélkül ugyanis az egész rendszer működtetésének nincs értelme. A hallgató feladata és felelőssége a számára egyetemi és vállalati környezetben előírt követelmények tőle elvárható szinten történő teljesítése, a határidők, munka- és balesetvédelmi előírások betartása. A hallgatónak a duális képzésben

¹ Dékánhelyettes, Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar

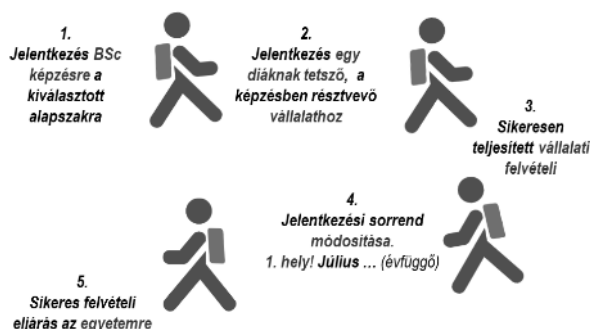
szorosabb időbeosztásra, több kötelezettségre, ugyanakkor ezáltal szélesebb körű szakmai fejlődési lehetőségekre kell számítani.

Hogyan épül fel a duális képzés?

Régóta kergetett „álom” a fejvadász cégek részéről, a „*Friss diploma, több éves szakmai tapasztalattal*” elvárá. Erre kínál(hat) megoldást a duális képzés.

A duális képzésben a hallgató a felsőoktatásba történő jelentkezésekor az egyetem/kar/szak mellett egy iparvállalatot, azaz egy munkahelyet is választ. Fontos feltétel, hogy a felsőoktatási intézmény és a vállalat között az adott szak duális képzésére vonatkozó -és az Oktatási Hivatal által jóváhagyott- együttműködési jogviszonynak kell fennállnia.

A felvételi eljárás egymással párhuzamosan, egy egyetemi és egy vállalati felvételi részből tevődik össze. (1. ábra)



1. ábra: A duális képzésre történő jelentkezés menete

A hallgató adott év február 15-ig a www.felvi.hu rendszerben tudja leadni a jelentkezését a felsőoktatási intézmény alapszakjára, de ekkor még nem kell jelezni azt, hogy duális, vagy hagyományos képzésben kíván részt venni. A jelentkező akár ezen dátumot megelőzően, akár ezt követően is tud jelentkezni duális képző partnervállalathoz, azonban fontos tudni, hogy amennyiben február 15-ig elmulasztja a felsőoktatási intézménybe a jelentkezését beadni, úgy már bizonyosan nem tud a (duális) képzésbe bekerülni az adott felvételi eljárás keretében.

A jelentkező több intézménybe, több szakra, valamint több vállalathoz is beadhatja a jelentkezését. Karunkon támogatjuk is azt, hogy a pályaválasztó lehetősége szerint minél több vállalathoz látogasson el, ismerje meg a lehetőségeit, hiszen komoly, felelősségteljes döntést kell meghoznia, az előtte álló 3,5 évre (a képzés idejére), és reményeink szerint azt követően, immár oklevéllel a zsebében még több évre választja meg a saját munkanapjainak a környezetét.

A vállalatok (a Műszaki Anyagtudományi Kar esetében ezt a határidőt kértük) minden év május 31-ig fogadják a jelentkezőket, és legkésőbb június 30-ig a jelentkezők részt is vesznek egy felvételi elbeszélgetésen. Június 30-ig kérjük (ez egyben törvényi kötelezettsége is a cégeknek) tájékoztatni a jelentkezőket a vállalati kiválasztás eredményéről, hiszen a diákok július első felében még -egyetlen alkalommal- módosíthatnak a www.felvi.hu rendszerben rögzített pályaválasztási sorrendjükön. A sorrendmódosításról a döntést pedig az adott szakhoz kapcsolódó vállalati felvételi eredmény birtokában tudja meghozni a hallgató, hiszen azt a képzést kell első helyre tennie, amelyhez kapcsolódóan egy cég kiválasztotta, illetve amely céges lehetőséggel az adott diák élni is szeretne.

Augusztus második felében, az ún. vonalhúzásnál dől el, hogy a jelentkező bekerül-e az adott szakra. Amennyiben mind az egyetemre, mind -legalább- egy vállalathoz sikeresen felvételizett, úgy szeptembertől megkezdheti a duális képzést. Amennyiben egy szakhoz kötődően több céghez is sikeresen felvételizett, úgy a hallgatónak kell eldöntenie, hogy mely cég „ajánlatát” fogadja el.

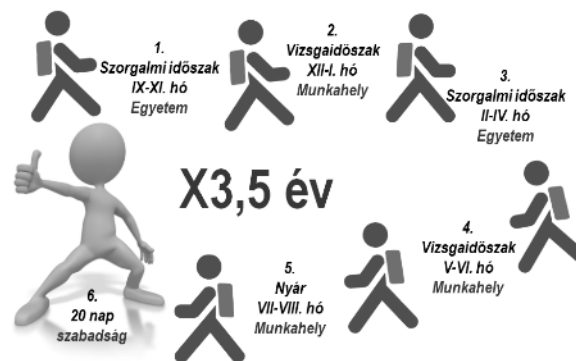
A duális képzési jogviszony a hallgató és a vállalat közötti duális hallgatói munkaszerződés aláírásával jön létre. A Karunkon minden év szeptember elején megrendezzük a Duális hallgatói szerződés aláíró ünnepséget, ahol

méltó módon, egyetemi/kari és céges vezetők előtt, sajtónyilvános rendezvényen ünnepélyes keretek között írhatják alá első munkaszerződéseiket a hallgatóink. (2. ábra)



2. ábra: Duális hallgatói szerződés aláíró ünnepség

A Műszaki Anyagtudományi Karon a duális képzésnek azt a modelljét választottuk, amikor az „egyetemi” és a „vállalati” szakaszok egymástól teljesen elkülönülnek (tehát az egyetemi időszakban nincs péntekenként vállalati tevékenység). (3. ábra) A hallgatók ősszel és tavasszal 13-13 hetet (1 hét regisztrációs időszak, 12 hét szorgalmi időszak) az egyetemen, az iskolapadban, a „hagyományos” képzésű diákokkal teljes mértékben megegyező módon töltönek, majd a téli-nyári vizsgaidőszakban, illetve július-augusztusban a vállalatnál vesznek részt személyre szabott képzésben (télen általában 9 hét, nyáron általában 17 hét). (3. ábra) A hallgatók a vállalattal egyeztetve vesznek részt a vizsgákon, a vizsganapokra szabadságot kapva (bizonyos vállalatok azt a modellt dolgozták ki, hogy 3-4 hetet „kiadnak” a hallgatóknak a vállalati szakaszból, ami alatt le kell tudniuk a vizsgákat, majd a vállalatnál lévő időben már nem mennek vizsgázni). A duális képzésben a hallgatók -a vizsganapokon felül- 20 nap szabadsággal rendelkeznek. A képzés végére a hallgató önéletrajzában 3 és fél éves szakmai tapasztalat (az adott cég megnevezésével) és valóban friss diploma fog szerepelni.



3. ábra: A duális képzés időbeosztása (Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Karon)

Miért jó a hallgatónak a duális képzés?

A duális képzés során a hallgató az év felét valós munkakörnyezetben, valós problémákkal szembesülve, gyakorlott ipari szakemberek vezetésével tölti el, ahol ráadásul megismerkedik az adott vállalati kultúrával, hierarchiával, betekintést nyerhet a vállalati felépítésbe, a döntéshozatali mechanizmusokba, az adott vállalat gyártástechnológiáját az elejétől a végéig alaposan megismerheti. Fontos, hogy a hallgató ekkor még kvázi „tét nélkül” láthatja el a munkáját, míg, ha diplomás pályakezdőként lenne hasonló pozícióban, akkor ott már minden hibának komolyabb ára van. A hallgató számára mind a vállalat, mind az egyetem részéről adottak a valódi, piacképes tudás megszerzésének lehetőségei, amely tudást a végzése után akár az adott vállalatnál, a ranglétrán gyorsabban előre haladva (karrierépítési lehetőség már a tanuló évek alatt!), de akár a szaktudással felvértezve más cégnél is kamatoztathat.

A hallgató számára a duális képzés kiváló pénzkereseti lehetőséget is biztosít, hiszen az év mind a 12 hónapjára (akkor is, amikor az iskolapadban ül!) fizetést ad a cég. A fizetés törvényileg garantált minimum szintje a

mindenkori minimálbér 15%-a hetente, amit ha kiszámítunk, akkor (akár az egyetemről kapott tanulmányi ösztöndíjjal megtámogatva) az a hallgató számára elég komoly jövedelmet biztosít. Számos vállalat próbálja jobb teljesítményre ösztönözni a diákjaikat azzal, hogy tanulmányi eredményük függvényében a minimumhoz képest magasabb fizetési sávokat is meghatároznak (akár 150-190.000 Ft-os havi jövedelem is elérhető bizonyos cégeknél).

Miért jó a vállalatnak a duális képzés?

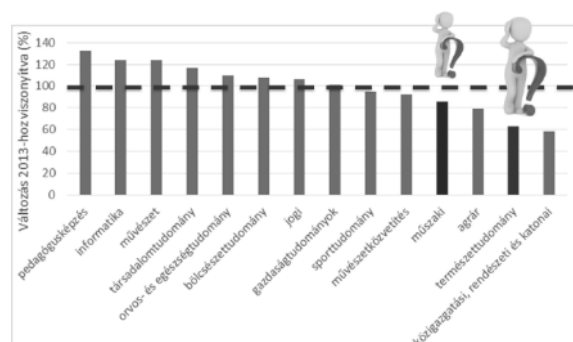
Napjainkban (de az elkövetkezendő 10 évben bizonyosan) a legtöbb iparvállalat komoly szakember utánpótlási problémával küzd, illetve a frissen végzett, pályakezdő mérnökök munkába állása, betanítása, az üzemi ismeretek átadása is komoly feladat a cégek számára. A duális képzés keretében a cég 3,5 év alatt teljes mértékben a saját igényeinek megfelelő, frissen végzett, de mégis az adott technológiát, üzemet, Kollégákat jól ismerő, azonnal hasznosítható tudású mérnököt képezhet. A hallgató számára olyan kompetenciákat is átadhat, ami iskolapadban nem sajátítható el.

A cég a kiválasztástól az oktatáson át minden folyamatban szerves része a duális képzésnek. A duális hallgatónak munkabéreként kifizetett költség bizonyos része elszámolható, így a szakember-utánpótlásba fektetett összeg csökkenthető. Amennyiben a hallgató teljesítménye nem megfelelő, a vállalat minden további következmény nélkül felmondhatja a duális szerződését a diáknak. A duális szerződés a képzés végéig szól a hallgató és a cég között, amennyiben a vállalat utána is alkalmazni szeretné, úgy új (immár nem hallgatói) munkaszerződést kell kötni a volt diákkal. Amennyiben a hallgató is elégedett a céggel (tapasztalataink alapján nagyon fontos, hogy milyen kép, vélemény alakul ki a diákokban a cégről, közvetlen és magasabb vezetőkről!), és a cég is elégedett a hallgatóval, akkor ez az új munkaszerződés csupán részletkérdés.

Honnan lesz diák a képzésben?

Az elmúlt években számos tényező miatt egyre nehezebb a középiskolás diákok műszaki területre történő beiskolázása. A korábbi 240-es törvényi minimumról két lépcsőben, előbb 260, majd 280 pontra nőtt a felsőoktatásba bekerüléshez szükséges alsó ponthatár, amivel -a nyilvánvaló minőségi javulás mellett- a vidéki felsőoktatási intézmények számos potenciális hallgatót veszítettek. Az egyre csökkenő demográfiai adatok, valamint a főváros (és egyre többször a külföld) elszívó ereje szintén nem segíti a megfelelő beiskolázási létszám elérését.

Fontos azonban azt is megfigyelni, hogy az előzőek miatt egyébként is egyre csökkenő potenciális jelentkezők között mind a műszaki, mind a természettudományos felsőoktatási képzések iránti érdeklődés szintén jelentősen csökken. A www.felvi.hu oldalon elérhető statisztikák alapján a 2013-as és a 2017-es év adatainak az összevetésével látható (4. ábra), hogy műszaki képzésre 2017-re a 2013-as létszám 85,8%-a, míg természettudományos képzésekre csupán a 2013-as szám 63,3%-a jelentkezett.



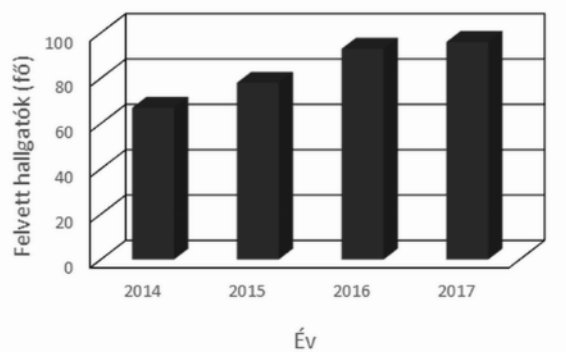
4. ábra: A különböző képzési területekre való jelentkezések változása 2013. és 2017. év összehasonlításában [www.felvi.hu adatok alapján, saját készítésű statisztika]

Ez a számunkra szomorú adat önmagában nem magyarázható a demográfiával, hiszen vannak szakterületek, melyek iránt 20-30%-kal nőtt az érdeklődés.

Sajnos kijelenthető, hogy napjainkban még mindig nem elég vonzó a fiatalok számára a mérnöki pálya, még mindig nagyon sok munka áll előttünk, hogy ezt a trendet valamilyen módon megváltoztassuk.

Egyértelműen kijelenthető ezen számokat látva, hogy napjainkban a műszaki (főként alap-) képzések esetén a beiskolázási létszám nemhogy növelése, de még a szinten tartása is nagyon komoly eredménynek mondható.

A Műszaki Anyagtudományi Kar ebben a nehéz időszakban a duális képzésnek (is) köszönhetően (amely 2015-ben indult) mégis létszám emelkedést tudtunk elérni, a 2014-es 67 hallgatóhoz képest 2017-ben már 96 főt tudott felvenni, ami 43%-os növekedés (mindkét számban BSc és MSc együtt szerepel).



5. ábra: A Műszaki Anyagtudományi Karra felvett hallgatók számának változása (2014-2017 időszakban)

A Karon ki tudtuk használni, hogy a duális képzésnek köszönhetően ki tudtunk lépni a regionalitásból, és tőlünk földrajzilag jelentősen távol eső vállalatokhoz is tudtunk hallgatót toborozni (pl. Győr, Budapest, Dunaújváros, Cegléd, Sátoraljaújhely, stb...). A duális képzésben Miskolc területét elhagyva mottónk: „Dolgozz otthon, tanulj Miskolcon!”. Karunk duális képzésére ugyanis a cégek saját régióikból tudnak úgy beiskolázni diákokat, hogy a hallgatóknak csupán 3,5 évig kell otthonuktól távol tanulni, ráadásul minden évben csak az őszi és tavaszi félévekben 3-3 hónapot kell Miskolcon tölteni, ezen kívül otthon dolgozhatnak, majd helyezkedhetnek el.

Mit tehet a cég, hogy legyen hallgatója?

Fontos, hogy túlnyomó többségében azon cégek van duális hallgatója, aki tesz is érte, azaz aktívan részt vesz a saját régiójában a toborzásban. Ebben mi folyamatosan partnerek vagyunk, részt veszünk közösen különböző programokon.

A cégek lehetőségei:

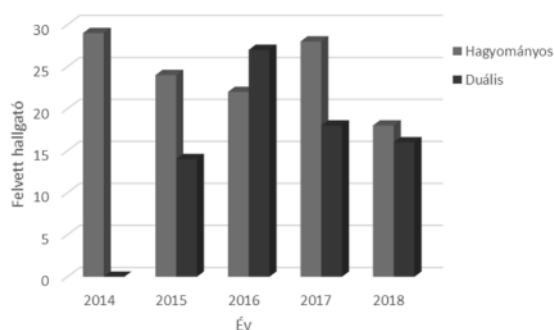
- iskolalátogatások (velünk közösen)
- diákok fogadása üzemlátogatásra
- céges alkalmazottak tájékoztatása (családban, baráti körben hátha van érdekelt)
- regionális média hirdetések
- közösségi média hirdetések (akár a Karunk felületein is)
- pályaválasztási és tömeg-rendezvényeken való aktív részvétel

Sajnos azonban ezek együtt sem jelentenek garanciát a sikerre, de ezek nélkül az esély még sokkal-sokkal csekélyebb, hogy belátható időn belül duális hallgatót fogadjon a vállalat.

Eddigi tapasztalataink

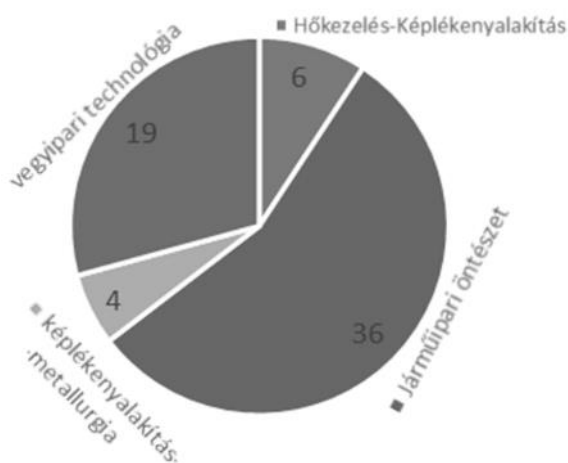
2015-ben indítottuk (országosan az elsők között) a duális képzést Karunkon, anyagmérnöki alapszakon. Az első évben csupán egyetlen specializáción (járműipari öntészet) voltak szerződött partnereink, de az azt követő években az összes szakterületünket lefedtük (*hőkezelés-képlékenyalakítás, fémtechnológia, metallurgia-képlékenyalakítás, polimer és vegyipari technológia, hőenergia és szilikástechnológia*). 2018. januárjában már 60 duális partnercéggel vagyunk szerződésben, amely egyetlen alapszakot tekintve országosan kiemelkedő.

Duális hallgatóink száma minden évfolyamban közel fele a hallgatói létszámnak, van évfolyam, ahol többen rendelkeznek duális jogviszonnal, mint ahányan nem. (6. ábra) Jelenleg összesen 65 duális hallgatónk van.



6. ábra: Duális és hagyományos képzésű hallgatók aránya évfolyamonként

A Karon belül magasan a Járműipari öntészeti specializációt választotta eddig a legtöbb hallgató (36 fő), Polimer- és vegyipari technológia specializáció szintén népszerű (19 fő), a Hőkezelés és képlékenyalakítás (6 fő), Metallurgia és képlékenyalakítás (4 fő), Hőenergia és szilikástechnológia (1 fő – de már idő előtt abbahagyta a képzést) specializációkon azonban jelentősen kevesebben tanulnak.



7. ábra: Duális hallgatók megoszlása specializációnként, anyagmérnöki alapszak, 2018, 1-4. évfolyam

A legtöbb partnervállalatunk a Járműipari öntészet területre szerződött, a Hőkezelés-képlékenyalakítás specializáción 11 partnercégünk van jelenleg.

Tapasztalataink alapján a duális képzésben résztvevő hallgatók már 2-3 vállalati szakasz után, tehát a 2. évfolyam végére a hagyományos képzésű diákjainkhoz képest jóval magasabb szakmai magabiztosságot szereznek, a félévekben előre haladva egyre inkább képesek bonyolultabb folyamatokat átlátni, alaposan tudnak vizsgálatokat megtervezni, összefüggésekben gondolkodni. Jelentősen javulnak az ún. puha kompetenciáik, „soft skill”-jeik, kommunikációban, előadókészségben, vitakészségben előrébb tartanak az átlagos hallgatóknál.

2018 decemberében végzett az első duális évfolyamunk, ezért átfogóan megvizsgáltuk a tanulmányi előmenetelüket is (és velük együtt az összes évfolyamét). Félévenként átlagosan 2 tizeddel jobb a duális képzésben résztvevő hallgatók tanulmányi átlageredménye a hagyományos képzésű társaiknál. Ennek oka

egyrészt a gyakorlati jártasság *(az elméletben tanultakat élőben is láthatják, így könnyebb elsajátítani a tudást)*, valamint a sokkal feszebb időbeosztásuk miatt megtanulják menedzselni az idejüket és megtanulnak hatékonyan tanulni. A legfontosabb ok-okozati összefüggésként azonban a duális hallgatók sokkal magasabb motivációs szintjét találtuk, hiszen Ők már a saját bőrükön érzik, hogy az előmenetel érdekében teljesíteniük kell.

Aki lemarad, kimarad (cég, hallgató)?

Az előzőekben bemutatott tendenciák alapján megállapítható, hogy

- egyre kevesebben jelentkeznek műszaki felsőoktatásba *(országosan)*,
- a következő években végzett hallgatók bizonyos része *(Karunkon közel fele!)* duális képzésének köszönhetően már céghez kötődik.

Ezek alapján kijelenthető, hogy azon cégek, akik nem vesznek részt a duális képzésben, és frissen végzett, pályakezdő mérnököt szeretnének alkalmazni, egyre nehezebb helyzetbe fognak kerülni, hiszen az egyre kevesebb mérnökből egyre kevesebb lesz „szabad”. A duális képzésében elégedett hallgatót ugyan át lehet csábítani másik céghez *(a duális szerződés a végzés pillanatában megszűnik)*, de bizonyosan jóval magasabb fizetési és egyéb igényekkel.

Azon hallgatók, akik nem vesznek részt a duális képzésben, szintén nehezebb helyzetben vannak, hiszen a cégek egy része már képez magának szakember utánpótlást, akinél jóval jobban kell teljesíteni, ha a helyére szeretne kerülni a friss pályakezdő. Ugyanakkor az iparban tapasztalható nagy szakember hiány miatt a duális képzésből kimaradó hallgatók a duális képzésből kimaradó cégekhez képest kevésbé kerülnek hátrányos helyzetbe.

Csatlakozási lehetőségek

Amennyiben Önök is úgy gondolják, hogy érdemes a duális képzésben partnervállalatként becsatlakozni, úgy kérem keressék fel Karunk honlapját, ahol minden fontos információt összeszedtünk, illetve minden szükséges dokumentum letölthető:

www.mak.uni-miskolc.hu/dualis/ceg-informacio

Konklúzió

A duális képzésnek köszönhetően az iparvállalatok saját maguk gondoskodhatnak a saját szakember utánpótlásukról, amiért azonban nekik is, valamint a felsőoktatási intézményeknek is keményen meg kell dolgozniuk. Pénzt, időt, energiát nem spórolva, kitartóan (évről évre) kell toborozni a jelentkezőket, majd a már „rendszerben” lévő hallgatók képzését, előrehaladásukat folyamatosan nyomon kell követni és értékelni azt, személyre szabott feladatokkal kell ellátni és számon is kell kérni a diákokat.

A duális képzésben aktívan és megfelelő támogatással résztvevő hallgatók azonban az átlagnál jobb tanulmányi eredményeikkel, a határidők betartásával, jó kommunikációs és problémamegoldó képességeikkel meghálálják a bizalmat és a törődést mind a vállalat, mind a felsőoktatási intézmény irányába.

Napjaink nehéz beiskolázási környezetében a duális képzés nagy lehetőség a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának a hallgatói létszám -legalább- szinten tartására, melyhez folyamatosan további partnereket keresünk.

A Karunkon számos területen országosan egyedülálló, unikális képzést folytatunk. Ezáltal felmerül a veszélye annak, hogy amely cég nem vesz részt velünk közösen a duális képzésben, azon cégek végzett mérnököt évről évre egyre nehezebben *(vagy az előképzettsége okán egyre drágábban!)* fognak tudni találni, hiszen hallgatóink jelentős része addigra már elkötelezett valamely más iparvállalat felé.

Bízatom a Tisztelt Vállalatvezetőket, keressenek bizalommal, hozzunk létre Önöknél is duális képzőhelyet.

Maradék ausztenit mennyiségének csökkentése kriogén eljárással

Reduction of residual austenite by cryogenic process

Ferenci Norbert¹, Németh Attila²

XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia és Szakkiállítás
Balatonfüred – 2018.10.3-5.

HAUNI
KÖRBER SOLUTIONS

MESSER
Gases for Life

Maradék ausztenit mennyiségének csökkentése kriogén eljárással



Készítette:
Ferenci Norbert – Messer Hungarogáz Kft.
Németh Attila – Hauni Hungaria Gépgyártó Kft.

The graph shows a temperature profile in degrees Celsius. It starts at 0°C, rises to 600°C for Austenizing, then to 800°C for Austenizing. It then drops to 400°C for Tempering, and finally to -200°C for Cryogenic treatment. The background of the graph shows a gear.

Tartalom

- Kriogén eljárás
- Mélyhűtés és kriogén eljárás
- M_s és M_f hőmérsékletek
- Kriogén eljárás hatása
- Kriogén eljárás előnyei
- Jellemző technológiai lépések
- Hűtőkamra telepítése
- Gazdaságosság
- Gyakorlati példa – Hauni
 - Gázellátó rendszer
 - Mélyhűtő láda
 - Berendezés főbb részei
 - Biztonsági követelmények
- Maradék ausztenit csökkentés szükségessége
- Vizsgált anyagok
- Alkalmazott technológiák
- Elvégzett vizsgálatok
- Eredmények és Konzekvenciák

MESSER
Gases for Life

HAUNI
KÖRBER SOLUTIONS



The photograph shows a mechanical part, possibly a gear or shaft, being treated in a cryogenic chamber. The chamber is filled with a white, frosty substance, and the part is illuminated by a bright light, creating a dramatic effect.

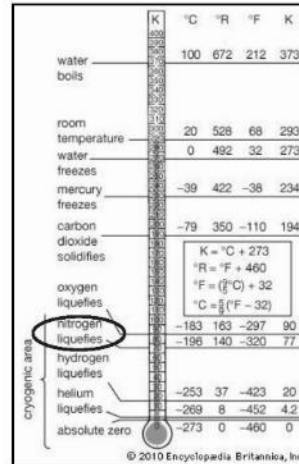
¹ Messer Hungarogáz Kft.

² Hauni Hungária Gépgyártó Kft.

Kriogén eljárás

Kriogén eljárás:

- Az anyagban szövetszerkezeti és a mechanikai tulajdonságokat érintő változások jönnek létre a kriogén hőmérséklet hatására.
- Kriogén hőmérséklet -150°C és az abszolút nulla (-273°C) közötti hőmérséklet tartományban van (cseppfolyós nitrogén = liquid nitrogen -196°C).

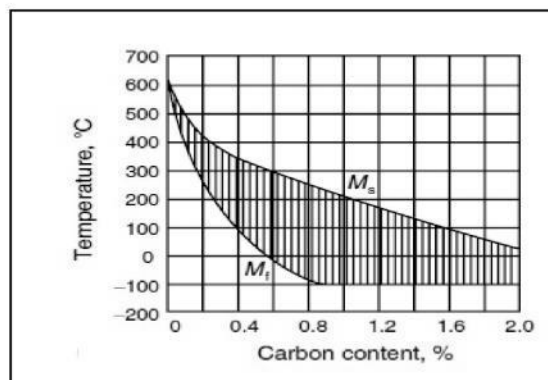


Mélyhűtés és kriogén eljárás

Eljárás	Leírás	Jellemzők	Cél
Zsugorkótés	Fémek teljes keresztmetszete csökken lehűléskor, mely lehetővé teszi az alkatrészek egymásba történő illesztését.	Hőmérséklet tartomány: $-70 - -120^{\circ}\text{C}$ Kezelés időtartama: amíg a fém teljes keresztmetszete mentén áthűl	Ideiglenes méretváltozás
Acélok mélyhűtési kezelése	Folyamatos hűtés - átalakulás nélkül - martenzites szövetszerkezet létrehozása céljából.	Hőmérséklet tartomány: $-70 - -150^{\circ}\text{C}$ Kezelés időtartama: 1 h hűtési idő szükséges / $\varnothing=3$ cm keresztmetszethez	- Ausztenit átalakulása martenzitté - Méretstabilitás
Acélok kriogén kezelése	A kriogén hőmérséklet hatására finom karbid részecskék keletkezhetnek, melyek növelik a szerszámacélok kopásállóságát.	Hőmérséklet tartomány: -150°C és alatta Kezelés időtartama: 24 h vagy hosszabb	Kopásállóság növekedés a karbid részecskék miatt

M_s és M_f hőmérsékletek

Az M_s és az M_f hőmérséklet az acél kémiai összetételétől függ.



Karbontartalom hatása az M_s és M_f hőmérsékletre

Kriogén eljárás hatása

MESSER
Gases for Life

HAUNI
KÖRBER SOLUTIONS

- A kriogén eljárás által okozott változás stabil.
- Az anyag teljes térfogatára hatással van.
- A kriogén eljárás hatására egy olyan anyag keletkezik, amely kevésbé érzékeny a vetemedésre.
- Az eljárással nagyobb szilárdságú, homogénebb szerkezet érhető el, melyek hatására az anyag kopásállósága is javul. A homogénebb szerkezetet a villamos és hővezető képességet növelheti.



Kriogén eljárás előnyei

MESSER
Gases for Life

HAUNI
KÖRBER SOLUTIONS

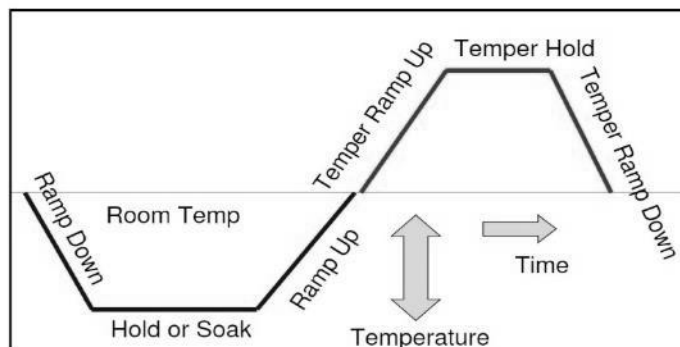
- A még meglevő ausztenit átalakítása martenzitté.
- Mechanikai tulajdonságok pl. keménység, szakítószilárdság stb. a keresztmetszet mentén azonosak (a szórás kis értékű). Nagyobb szilárdsági jellemzőkkel és szívóssági jellemzőkkel rendelkező, nagyobb kopásállóságú alkatrészek állíthatók elő, melyek nagyobb teljesítményre képesek és az élettartamuk is hosszabb.



Jellemző technológiai lépések

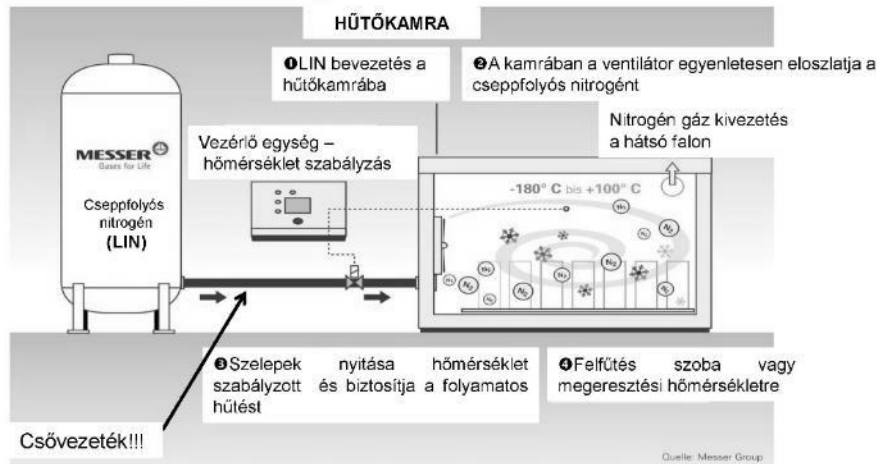
MESSER
Gases for Life

HAUNI
KÖRBER SOLUTIONS



Lehűtés általában: 0,25 – 0,5 °C/min.
Hőntartás: 4 - 48 h anyagtól függ kb. -180 °C-on.
Felfűtés általában: 2,5 °C/min.

Hűtőkamra telepítése



Gazdaságosság

Cseppfolyós nitrogén igény:

1. Adag lehűtése- $\approx 0,45$ kg/kg acél
2. Kamra belsejének lehűtése- $\approx 0,45$ kg/kg acél
3. Hővesztés a szigetelésen keresztül - függ a szigeteléstől és a konstrukciótól
4. Keringtetés hőtermeléssel jár

$\approx 1,0 - 1,5$ kg LIN/kg acél

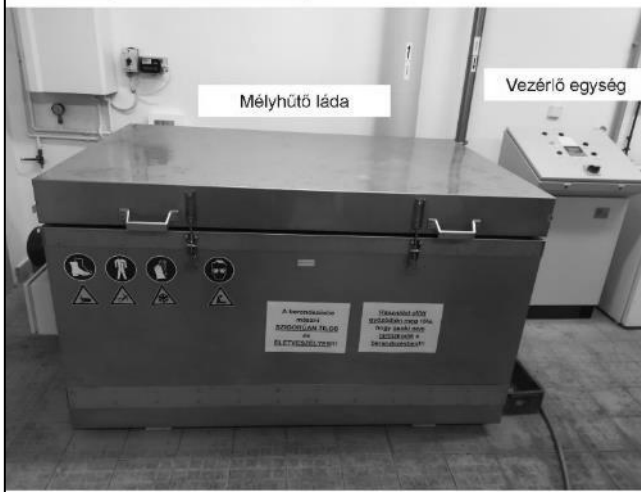


Gyakorlati példa Hauni Gázellátó rendszer

- Telepítés éve: 2017
- Tartály térfogata: 6 570 l
- LIN elvételel
- Vákuum csővezeték, flexibilis tömlő



Mélyhűtő láda



- **Berendezés beszállítója:**
Messer
- **Üzembe helyezés (Messer által):**
2017
- **Üzemeltetési hőmérséklet:**
- 140 °C - + 80 °C
- **Üzemeltetési nyomás:**
Min: 2 bar
- **Adag:**
Max. 200 kg

Berendezés főbb részei

- Hűtő kamra
- Elszívó rendszer
- Keringtető rendszer
- Fűtő rendszer
- Tetőfedél fűtő rendszer
- N₂ adagolás
- Alacsony hőmérséklet szabályzó
- Magas hőmérséklet szabályzó
- Vezérlő panel



Példa - ciklus

Módosítható paraméterek

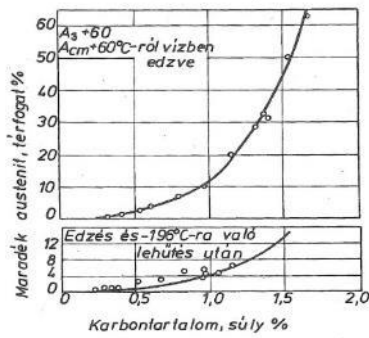
Szakasz	Hőmérséklet beállított érték	Szabályzott tag	Idő
1	25.00	1, 4	00:10:00
2	-60.00	1, 4	00:05:00
3	-60.00	1, 2	00:15:00
4	40.00	1, 2	00:05:00
5	40.00	0	00:00:01

Biztonsági követelmények

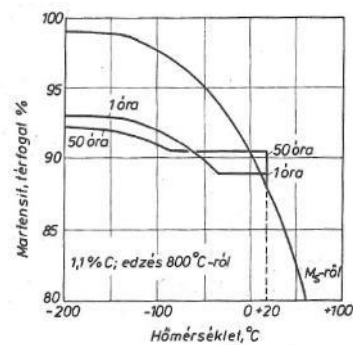
- Cseppfolyós nitrogén (LIN) biztonsági adatlap
- Fulladásveszély (O₂ szint mérő a zárt tér miatt)
- Jól szellőztött helyiség
- Csövezeték nyomásmentesítése (a cseppfolyós nitrogén tágul)
- Biztonsági szelep kivezetése a szabadba
- Az eljárás során keletkező gáz kivezetés a szabadba
- A mélyhűtő láda tetőfedél végállás kapcsolóval ellátott (a folyamat közbeni nyitástól véd)
- Kezelő személyzet oktatása!!!
 - Gázellátó rendszer
 - Mélyhűtő láda



Maradék auszenit csökkentés szükségessége



A maradék auszenit mennyisége a karbon-tartalom függvényében 20 °C-ig és -196°C-ig hűtött Fe-C-ötvözetekben



Az auszenit stabilizálódásának körülményei

Vizsgált anyagok - 1

Böhler M390

Anyagösszetétel:

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
%	1,9	0,7	0,3	20	1	4	0,6

Tipikus felhasználása:

- Polimer extrúziós és fröccsöntő csigák, visszarámlásgátlók
- Formák vegyileg agresszív és abrazív anyagok gyártásához
- Élelmiszeripari feldolgozó berendezések alkatrészei
- Magas élettartamú és pontosságú vágószerszámok, kések

Vizsgált anyagok - 2

CPM 420V

Anyagösszetétel:

	C	Cr	V	Mo
%	2,3	14	9	1

Tipikus felhasználása:

- Polimer extrúziós és fröccsöntő csigák
- Magas élettartamú vágóeszközök, kések
- Kopásálló szerszámok az étel- és vegyi feldolgozóiparba
- Csapágycsapatok, csapágycsapcsapok, szelepek

Vizsgált anyagok - 3

Böhler K110 [X153 CrMoV12]

Anyagösszetétel:

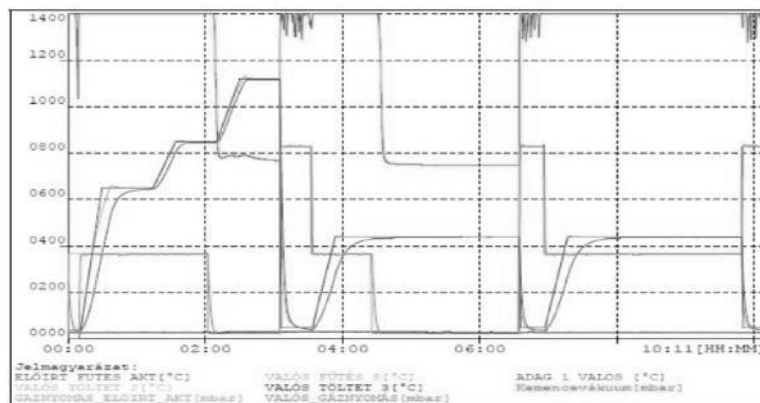
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
%	1,55	0,3	0,3	11,3	0,75	0,75

Tipikus felhasználása:

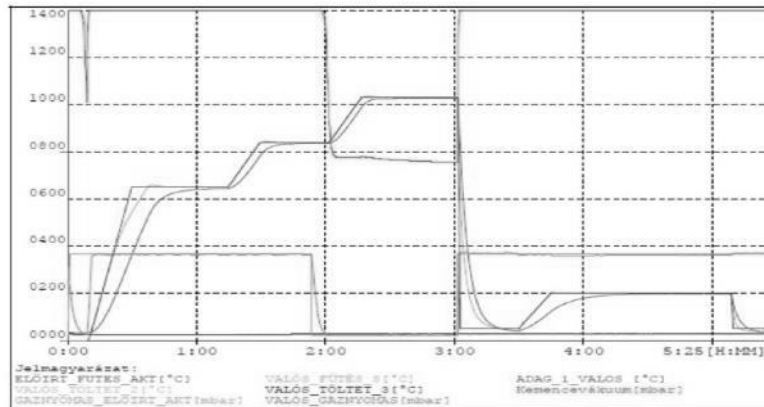
- Papír és műanyagipari vágó és kivágószerszámok (vágólapok és bélyegek)
- Kerámia- és gyógyszeripari prészserszámok
- Hidreálító hengerek
- Famegmunkáló szerszámok
- Kisméretű és különösen jó abrazív kopásállóságú műanyagalkotó formák és betétek

Alkalmazott technológiák – 1

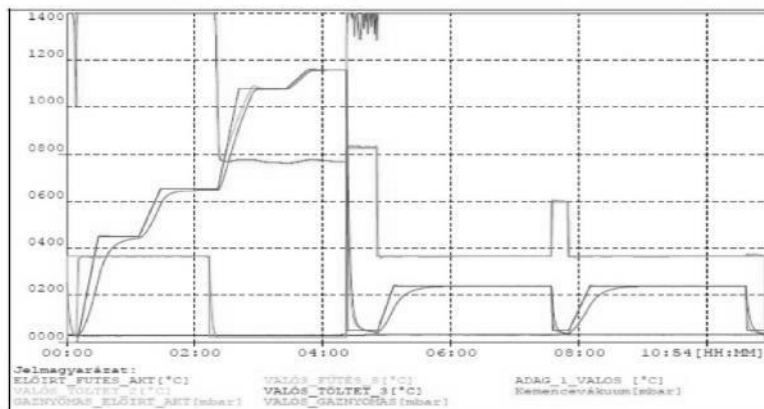
Hőkezelés (M390)



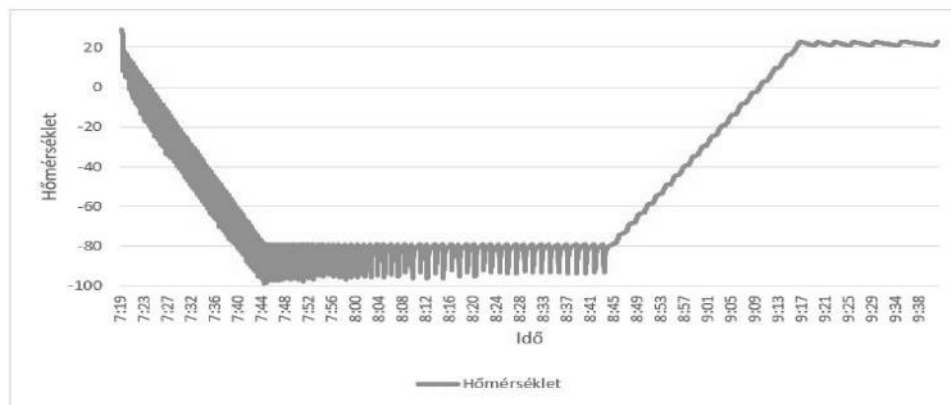
Alkalmazott technológiák - 2 Hőkezelés (X153CrMoV12)



Alkalmazott technológiák - 3 Hőkezelés (CPM 420V)



Alkalmazott technológiák - 4 Mélyhűtés

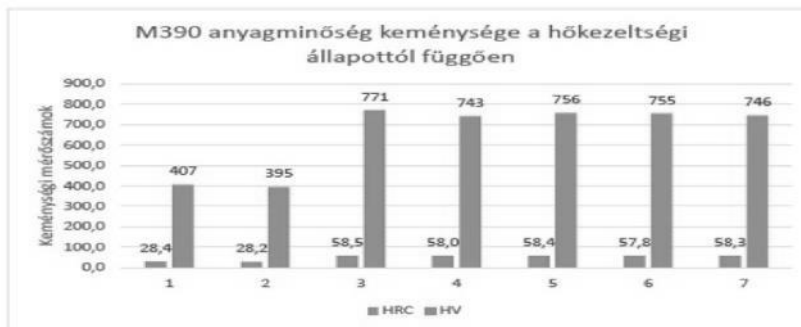


Elvégzett vizsgálatok

- Keménységmérés
- Maradék ausztenit elemzés

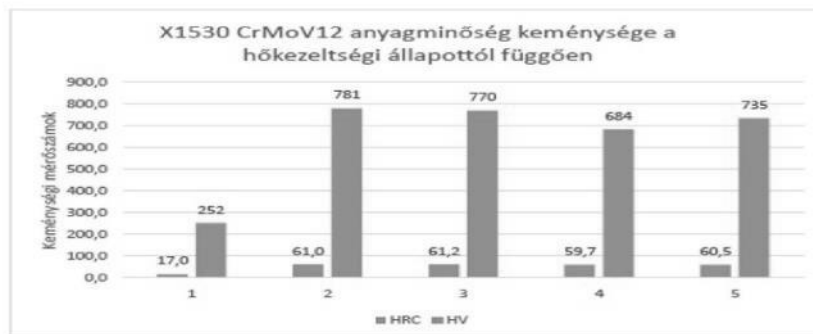


Eredmények - 1 Keménységmérés



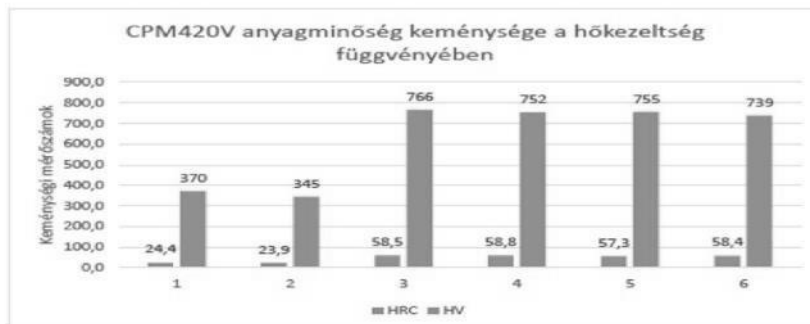
11. diagram A Böhler M390 microclean anyag keménysége a hőkezelés függvényében
Jelmagyarázat: 1,2: Hőkezelés előtt; 3,4,5: Hőkezelt; 6,7: Mélyhűtött

Eredmények - 2 Keménységmérés



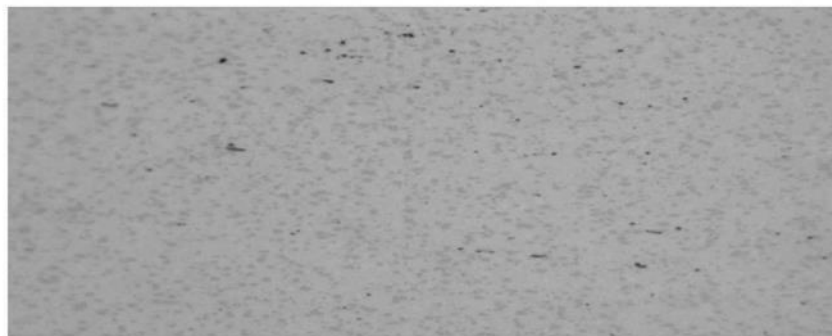
10. diagram: Az X153 CrMoV12 anyag keménysége a hőkezelés függvényében
Jelmagyarázat: 1: Hőkezelés előtt; 2,3: Hőkezelt; 4,5: Mélyhűtött

Eredmények - 3 Keménységmérés



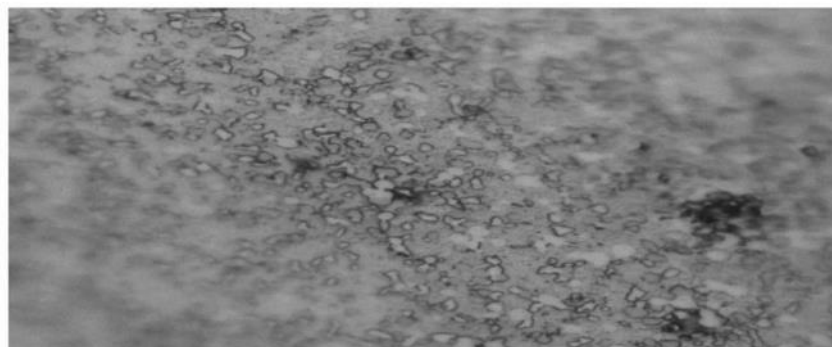
12. diagram: A Crucible CPM 420V anyag keménysége a hőkezelés függvényében
Jelmagyarázat: 1,2: Hőkezelés előtt ; 3,4: Hőkezelt ; 5,6: Mélyhűtött

Eredmények - 4 Maradék ausztenit elemzése - előzmény



6. ábra: CPM420 anyag mikroszkópi képe polírozás után

Eredmények - 5 Maradék ausztenit elemzése - előzmény



7. ábra: CPM420 anyag 2% Nitallal maratva

Eredmények - 6

Maradék ausztenit elemzése - előzmény

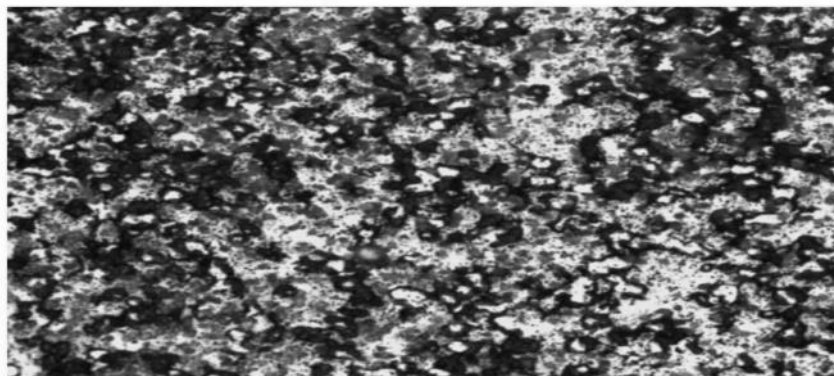
Table 4 Beraha's CdS and PbS reagents

Reagent	Composition	Comments
CdS	1000 mL water 240 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 30 g citric acid 20-25 g cadmium chloride Note: Cadmium sulfate or cadmium acetate can be substituted for cadmium chloride.	For iron, steel, ferritic and martensitic stainless steel: Dissolve chemicals in the order shown. Age 24 h in a dark bottle in darkness at 20 °C (70 °F). Before use, filter 100 mL of the solution. Immerse 20-90 s. For steels, after 20-40 s, ferrite is colored red or violet; with longer times, ferrite is yellow or light blue, phosphide is brown, and carbides are violet or blue. For stainless steel: Immerse 60-90 s to color carbides red or violet-blue, matrix yellow; ferrite colors vary. Immersion >90 s colors the sulfides red-brown.
PbS	1000 mL water 240 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 30 g citric acid 24 g lead acetate	For copper and copper alloys: Dissolve in order given, and age as above. Do not filter stock solution. Immersion colors face-centered cubic matrix. For cast iron and steel: Pre-etch with nital. Add 0.2 g NaNO_2 to 100 mL of solution with vigorous stirring. Immerse until surface is colored as follows: ferrite, violet to blue; cementite, pale violet or blue; phosphide, yellow; and sulfides, white.

16.ábra: Beraha Kadmium- és Ólomtartalmú színes marószerei

Eredmények - 7

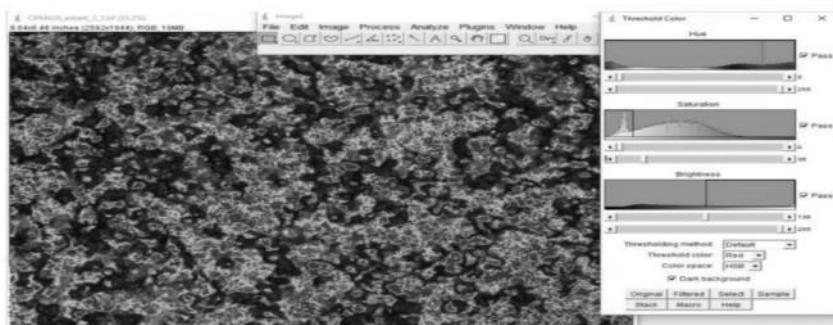
Maradék ausztenit elemzése - előzmény



17. ábra: CPM420 mikroszkópi képe, amit felhasználók a fotóelemzéshez

Eredmények - 8

Maradék ausztenit elemzése - elemzés



18. ábra: az előző ábrán látható kép fehér részeinek kijelölése ImageJ programmal, majd a terület százalékos arányának meghatározása.

Eredmények - 9

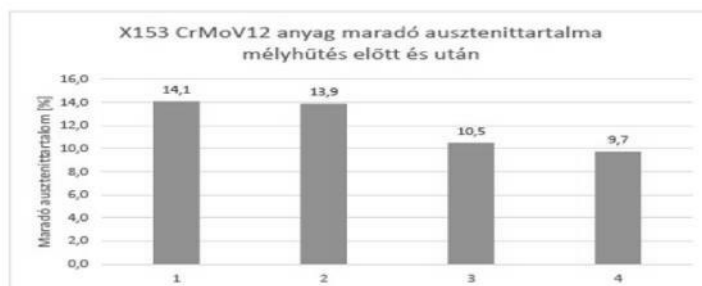
Maradék ausztenit elemzése - kiértékelés

Anyag	Mérés 1	Mérés 2	Mérés 3	Átlagérték
X153 edzetlen	18,6	16	14,6	16,4
M390 edzetlen_1	15,6	10,3	14,1	13,3
M390 edzetlen_2	10,3	9,2	8,8	9,4
CPM420 edzetlen_1	16,3	23,2	15,4	18,3
CPM420 edzetlen_2	15,1	11,1	9,7	12,0
M390 edzett_1	15,2	12,9	15,1	14,4
M390 edzett_2	13,7	13	16,2	14,3
M390 edzett_3	13,6	12,8	14,5	13,6
CPM420 edzett_1	12,8	14,4	15,4	14,2
CPM420 edzett_2	14,2	15,2	13,9	14,4
X153 edzett_1	15,8	13	13,4	14,1
X153 edzett_2	14,6	13,7	13,3	13,9
X153 mélyhűtött_1	10	10,5	10,9	10,5
X153 mélyhűtött_2	9,1	11,1	8,9	9,7
CPM420 mélyhűtött_1	1,6	2,8	3,8	2,7
CPM420 mélyhűtött_2	7,1	6,2	6,4	6,5
M390 mélyhűtött_1	10,4	10,9	9,2	10,2
M390 mélyhűtött_2	9,9	16,4	12,9	13,1

3.táblázat: Az optikai metallográfiai úton meghatározott maradé ausztenit tartalmak

Eredmények - 10

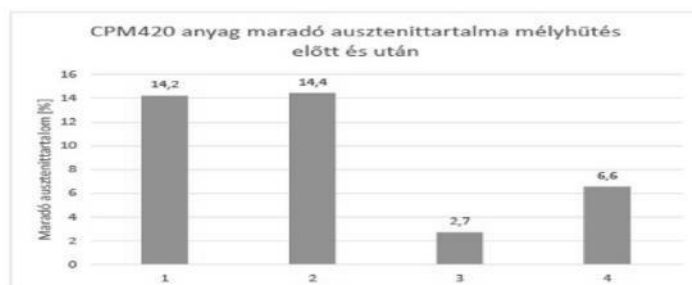
Maradék ausztenit elemzése - kiértékelés



19.diagram: X153 CrMoV12 maradé ausztenittartalma a mélyhűtés előtt és után
Jelmagyarázat: 1,2: mélyhűtés előtti állapot ; 3,4: mélyhűtés utáni állapot

Eredmények - 11

Maradék ausztenit elemzése - kiértékelés



20.diagram: CPM420V anyagminőség maradé ausztenittartalma mélyhűtés előtt és után
Jelmagyarázat: 1,2: mélyhűtés előtti állapot ; 3,4: mélyhűtés utáni állapot

Eredmények - 12

Maradék ausztenit elemzése - kiértékelés



21. diagram: M390 anyagminőség maradó ausztenittartalma a mélyhűtés előtt és után
Jelmagyarázat: 1,2,3: mélyhűtés előtt; 4,5: mélyhűtés után

36_17

...er World

Konzekvencia

- Selejt mennyisége 90%-kal csökken
- Utómunka csökkent, megszűnt
- Átlagos átfutási idő 35 napról 25-re módosult



Képtalál a következőre „conclusion”

Format alkatrészek



1. ábra: klímatisztított csarnok részlet megmunkáló központokkal

Format alkatrészek



3. ábra: „format” alkatrészek

Köszönjük a figyelmet!



HAUNI
KÖRBER SOLUTIONS

Köszönet a szakmai segítségért Dr. Tóth Tamásnak!

Az 1.2379 EN-számjelű szerszámacél szövetszerkezeti átalakulásai különböző hőkezelési technológiák hatására

Microstructural transformations of EN 1.2379 tool steel due to different heat treatment technologies

Dr. Tóth László¹, Dr. Fábián Enikő Réka², Pártl Ferenc³

Abstract

The X153CrMV12 ledeburitic chromium steel is well known from the tool makers as EN 1.2379 quality. This steel due to high carbon and high chromium contents has a large volume of carbides in the microstructure. This steel quality has high compression strength, excellent deep hardenability and toughness properties, dimensional stability during heat treatment, high resistance to softening at elevated temperatures. There were studied the effect of different heat treatment processes on microstructure and on the hardness. The high austenitization temperature followed by three times tempered at high temperatures gives the best results.

Absztrakt

Az X153CrMoV12 minőségű, öntött állapotban alapvetően ledeburitos acél, a szerszámgyártók piacán EN 1.2379 es néven közismert. Az anyag közkedveltsége részben a jó szívósságának, relatív nagy szilárdságának, részben a késztermék mérettartósságának köszönhető. Kísérleteink során a mintáinkat különböző ausztenítési hőmérsékletekről edzve tanulmányoztuk azok szövetszerkezetét illetve keménységét. Mikroszkóppal vizsgáltuk különböző hőmérsékleteken végzett egyszeres illetve többszörös megeresztések során kialakuló szövetszerkezeteket, illetve mértük a mintadarabok Rockwell keménységét és a jellegzetes szövetszerkezetek mikrokeménységét. A magas edzési hőmérséklet utáni többszörös nagy hőmérsékletű megeresztések pozitív hatásai bizonyítást nyertek.

1. Bevezetés

Az EN 1.2379-es minőségű acél egy erősen ötvözött, 12%-os krómtartalmú, öntött állapotban ledeburitos hidegalakító szerszámacél. Nagyon jó abrazív kopásállósággal, jó edzhetőséggel, magas nyomószilárdsággal és jó szívóssággal rendelkezik köszönhetően a magas króm illetve vanádium és molibdén ötvözésnek. A felhasználók előszeretettel használják vágó- kivágó szerszám alapanyagaként, ollók, kések gyártására, hajlító-, húzó-, mélyhúzó és hidegfolyató szerszámnak, menethengerlő szerszámnak, kerámia- és gyógyszeripari prészserszámokhoz, hidegalakító hengerek gyártására, papír-, műanyag-, fa-, bőr-, gumi-, textília anyagok vágószerszámaként valamint nagy kopásállóságú műanyag-alakító formák és betétek gyártására is. Szikraforgácsolással történő megmunkálásra kiválóan alkalmas, ami a mai felhasználók körében egyre nagyobb igényt mutat. Ezt az acélt az acélforgalmazók lágyított állapotban forgalmazzák, ekkor a keménysége max.250HB lehet. Ebben az állapotban a magas ötvözöttség ellenére is aránylag könnyen megmunkálható, mely a szerszámgyártók örömeire szolgál.

A szerszám kívánt tulajdonságait hőkezeléssel állítják be. Előny a csekély hőkezelési méretváltozás. A sokrétű felhasználáshoz a megfelelő tulajdonságokat az anyag sokszínű hőkezelésével lehet biztosítani. Alkalmazható az alacsony (pl.1030°C), vagy magas (pl.1070°C) edzési hőmérséklet, a kicsi illetve nagy megeresztési hőmérséklet, az egyszeri vagy többszöri megeresztés illetve a kriogénikus (mélyhűtés) edzés is. Ez a szerszámacél nagy szén tartalmának és magas ötvöző tartalmának köszönhetően magas edzési hőmérsékletű és nagy megeresztési hőmérsékletű hőkezeléssel alkalmas szekunder keményedésre, mely során a magas ausztenítési hőmérsékleten oldatba vitt karbidképző ötvözők nagy megeresztési hőmérsékleten finom másodlagos karbidként képesek kiválni felkeményítve ezáltal a szövet mátrixát. Ha szükséges különböző

¹⁻² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék

³ Magyarmet Finomöntöde Kft.

¹ toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu, ² fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu, ³ f.partl@magyarmet.hu

felületkezelésekre is alkalmas ez a szerszámacél pl. nitridálásokra figyelembe véve a megeresztési hőmérsékletet.[1- 5]

A kész szerszám tulajdonságait a végső hőkezelés után éri el. A felhasználók a hőkezelőnek a szerszámon mért Rockwell keménységet írják elő. Viszont a szerszám élettartalma, kopásállósága, szívóssága azonos Rockwell keménység esetén is változhat. Egy szerszám annál jobb minőségű, minél nagyobb szívósság járul az előírt keménységhez, tudniillik annál nagyobb a szerszám töréssel szembeni biztonsága. A szerszám élettartalmát, szívósságát, kopásállóságát befolyásolhatja a szövet szerkezete is. Másként viselkedik egy finom szemcsés és egy durvább szemcsés anyag, egy finomabb diszperz eloszlású és egy durvább inhomogén karbidos szerkezetű anyag. A szívósság annál nagyobb, minél finomabb az acél szemcsenagysága. Ez pedig a hőkezelés optimalizálásával érhető el.

A különböző hőkezelések utáni tulajdonságokra utalnak a próbatesteken végzett szövetszerkezeti vizsgálatok valamint az ezeken végzett mikrokeménységek. Ebben a cikkben ezeket szeretnénk kifejteni.

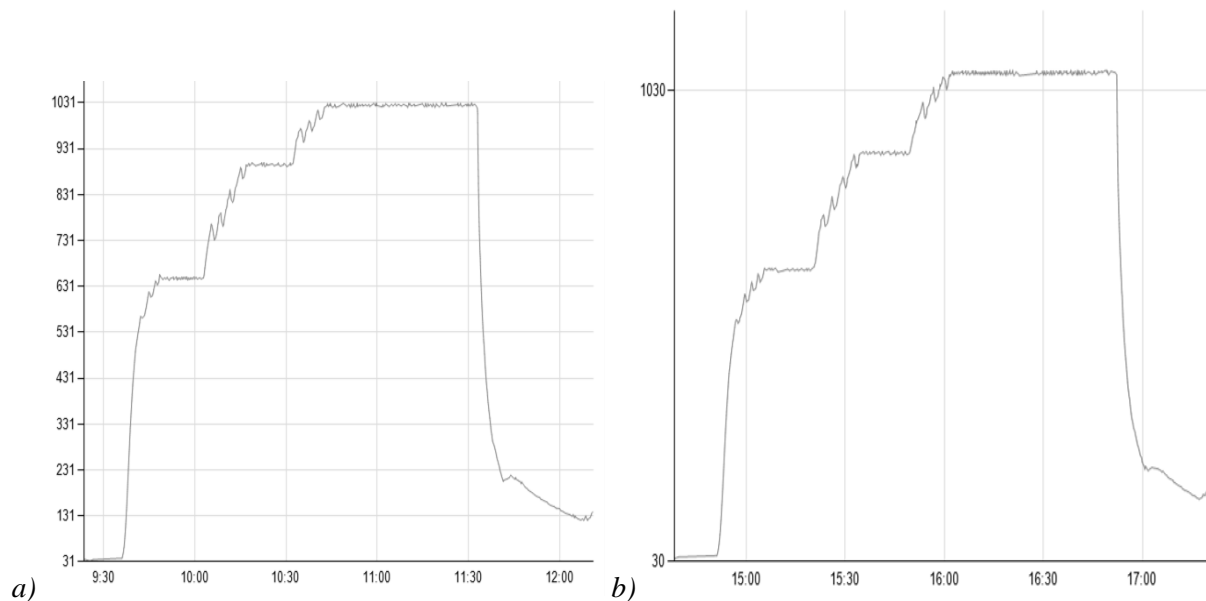
2. Kísérletek leírása, alkalmazott eszközök

A mintadarabok vegyi összetételének meghatározása spektrométerrel történt. A kémiai összetételt az 1. táblázat ismerteti.

1.2379	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
Mért	1,67	0,364	0,422	0,0246	0,0091	11,25	0,837	1,41

1. táblázat: Vizsgálati anyag kémiai összetétele

Az auszteniést VFC típusú, 300x370x200mm-es méretű, Ipsen vákuumkemencében végeztük 1030°C-on illetve 1070°C-on. Az hevítés két lépcsős hőtartással történt (1.ábra)



1. ábra: (a) auszteniésítés 1030°C -on. , (b) auszteniésítés 1070°C -on.

A hűtés argon védőgázban végeztük. A megeresztéseket egy 300x370x350mm-es méretű Muhel kemencébe argon védőgáz alatt végeztük 2 órás hűtési tartásokkal.

Minden hőkezelési lépés után Rockwell C keménységmérést végeztünk a gyakorlati szokások szerint mindegyik edzési és megeresztési művelet után. A keménységi értékek edzés után 61 és 62HRC között mozogtak (2. táblázat). A megeresztések után a keménységi értékek csökkentek, a magas hőmérsékletű megeresztések után 59 HRC-t mértünk. A részletek megismeréséért szövetszerkezeti és mikrokeménységi vizsgálatokat végeztünk.

A kísérleti mintákat gondos metallográfiai előkészítés után Olympus PMG3 típusú fémmikroszkópon vizsgáltuk, a mikrokeménységmérést Buhler 1105 típusú Vickers keménységmérővel végeztük.

3. Kísérleti eredmények

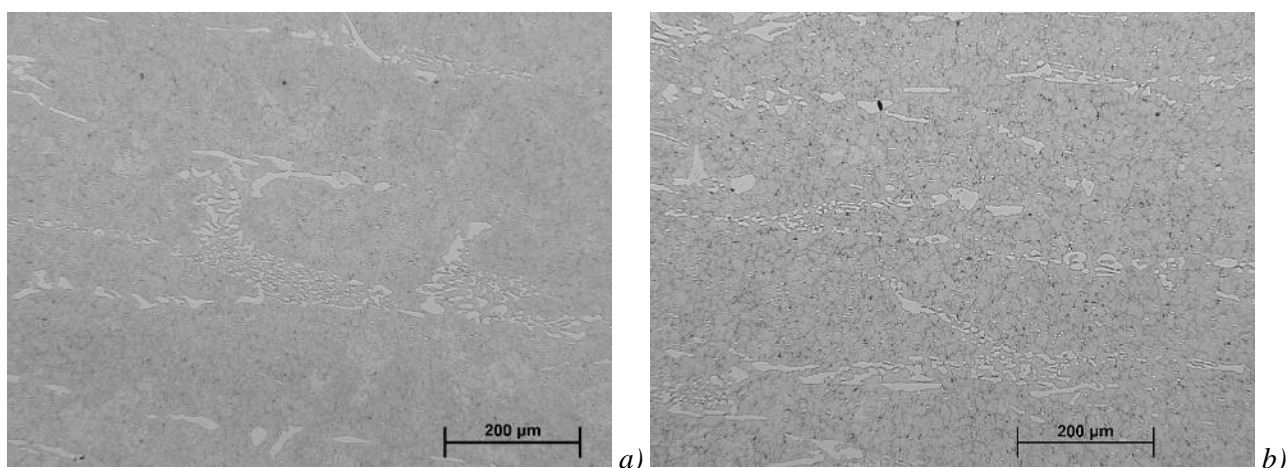
A mikrokeménység méréseket minden egyes mintán a mátrixban is és a karbidokon is elvégeztük. Nyolc különböző hőkezeltségű mintát vizsgáltunk. (2. táblázat).

3.1 Mikrokeménység mérési és mikroszkópos vizsgálati eredmények

Minta sorszám	Ausztenítési hőmérséklet (°C)	Edzés utáni keménység (HV1)		Megeresztési hőmérséklet (°C)			Megeresztés utáni keménység (HV1)					
							1		2		3	
		mátrix	karbid	1	2	3	mátrix	karbid	mátrix	karbid	mátrix	karbid
1	1030	674	806	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1030	-	-	200	-	-	677	788	-	-	-	-
3	1070	648	746	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1070	-	-	200	-	-	641	713	-	-	-	-
5	1070	-	-	540	-	-	732	794	-	-	-	-
6	1070	-	-	490	-	-	653	774	-	-	-	-
7	1070	-	-	520	540	-	-	-	685	793	-	-
8	1070	-	-	520	540	500	-	-	-	-	740	888

2. táblázat: A vizsgált minták mikrokeménység -mérési adatai

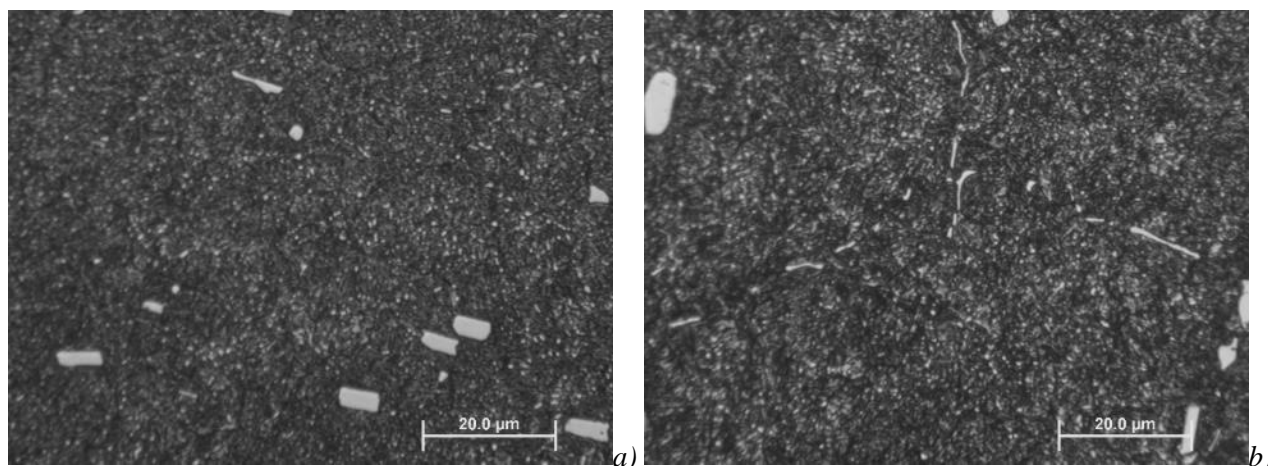
Az 1.-es minta mátrixának a keménysége nagyobb a 3.-as minta mátrixának a keménységétől. Mindkét esetben az edzés utáni keménységet mértük. A 3.-as minta ausztenítésése 40°C-al magasabb hőmérsékleten történt, mint az 1.-es mintáé. Az ok felderítése érdekében szövetszerkezet vizsgálatot végeztünk. A fénymikroszkópos vizsgálathoz előbb nitállal (98 ml etanol+2 ml salétromsav) marattuk a mintákat. Nitállal való maratás után láthatóvá válik a karbidok eloszlása, mérete, a primer ausztenit szemcseméret, durvaszemcsés anyagoknál a martenzit mellett a maradék ausztenit is megfigyelhető. Az általunk vizsgált anyag szövetszerkezeti vizsgálatakor azt tapasztaltuk, hogy a primer karbidok egyik ausztenítésési hőmérsékleten sem mentek mind oldatba, bár a nagyobb ausztenítésési hőmérséklet után a nagy karbidok szelei oldódtak (2. ábra), de a morfológiája nem változott. A primer ausztenit szemcseméret jelentősen nem durvult. Ezzel a maratási technikával fénymikroszkópon maradék ausztenit nem volt látható.



2. ábra: Az edzett minták szövetszerkezete 1030°C-ról (a) és 1070°C-ról (b) hűtve $N=100\times$ -os nagyításban. Marószerszer: 2%-os nitál

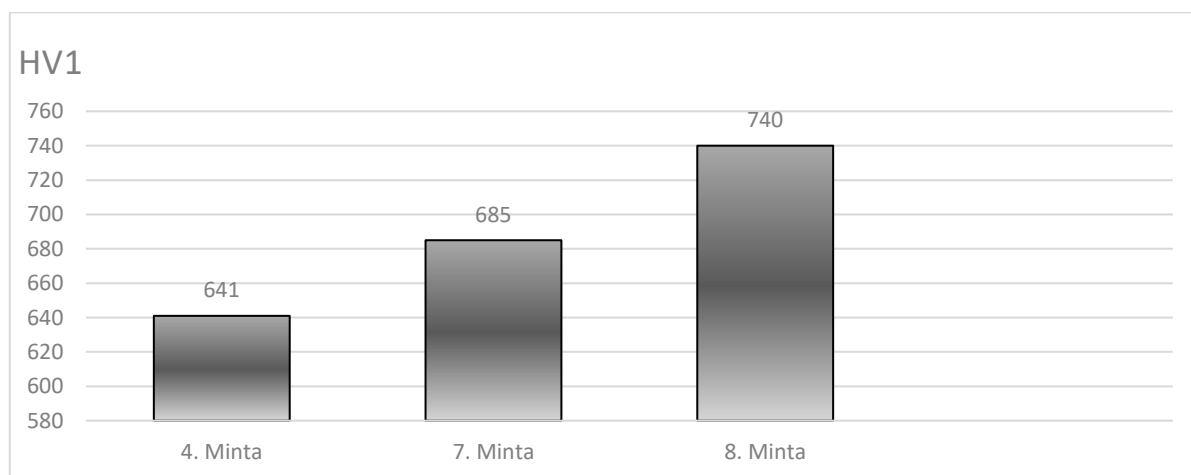
Irodalmi adatok szerint nagy karbon és króm-tartalmú acéloknál nitállal való maratás után a maradék ausztenit sem mindig figyelhető meg [6], miközben RXD mérésekkel, EBSD illetve TEM vizsgálatokkal egyértelműen

kimutatható [7,8], de ezek a technikák igen költségesek, esetenként a minta előkészítés körülményes, jellemzően az iparban nem könnyen elérhető. Különleges acéloknál, mint amilyenek a korrózióálló duplex acélok az ausztenit a ferrittől jól elkülöníthető Beraha'2 reagenssel való maratással (85ml víz+15 ml sósav+ 1g K₂S₂O₅) [9,10], mivel az auszteniten nem alakul ki színes szulfidos réteg. Bár a karbidok felülete az ezzel a reagenssel maratva szintén nem színeződik el, de azok jellege miatt jól elkülöníthetőek a maradék ausztenittől. Ezt a marószert használva azt tapasztaltuk, hogy több a maradék ausztenit 1070°C- on való ausztenítésési hőmérsékletéről, mint 1030°C-ról hűtve (3. ábra). Ez jó magyarázatul szolgál a mért keménység különbségre.



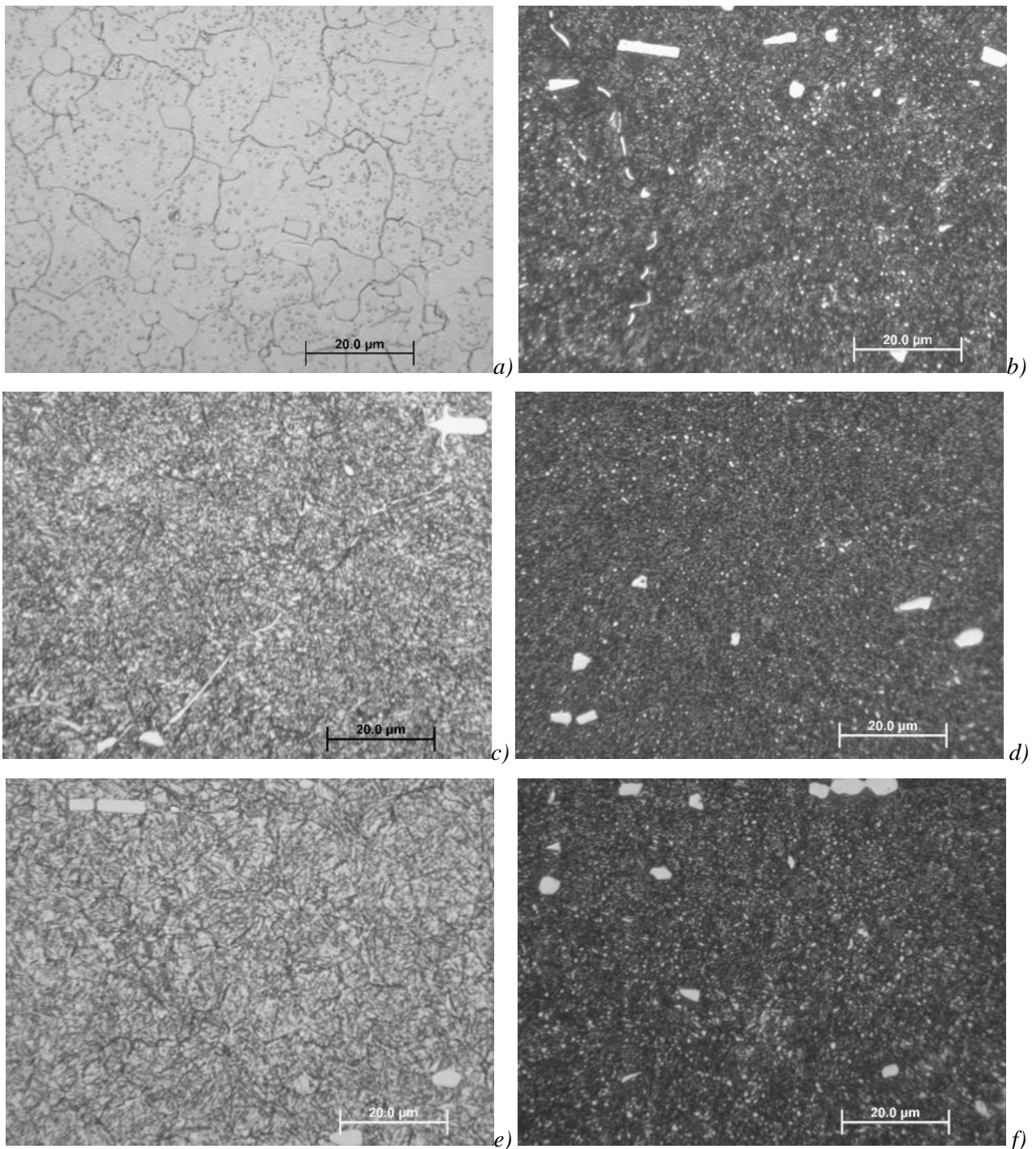
2. ábra: Az 1.jelű (a) és 3.jelű (b) minták mikroszkópos felvételei Beraha reagenssel való maratás után.
N_{eredeti}=1000x

A megeresztési hőmérséklet is befolyásolja a tulajdonságokat. Az alacsony megeresztésű (4.-es minta) és többszörösen, magas hőmérsékleten megeresztett (7, 8 minta) minták mátrixainak mikrokeménységei jelentősen különböznek (3 ábra).



3. ábra: Mátrix mikrokeménységeinek változása a megeresztések függvényében az 1070°C-ról edzett mintáknál

200°C-on megeresztve a mintákat a mátrix keménysége átlagosan alig haladta meg a 640HV1-et, kétszer megeresztve 500°C felett (520°C+540°C-on) a mátrix keménysége átlagosan 685HV1-nek adódott. A kétszeres nagy hőmérsékletű megeresztést kiegészítve egy 500°C-on való 1 órás hőn tartással a mátrix keménysége átlagosan 740HV1 lett a maradék ausztenit csökkenésének és a szekunder karbid kiválásoknak köszönhetően, ahogy azt a szövetszerkezeti vizsgálatok igazolják (4. ábra).



4. ábra: Az 1070°C-ről hűtött majd megeresztett minták mikroszkópos felvételei $N_{eredeti}=1000x$

a) 200°C-on megeresztve, nitállal maratva b) 200°C-on megeresztve, Beraha'2 reagenssel maratva c) 520°C+540°C-on megeresztve, nitállal maratva d) 520°C+540°C-on megeresztve, Beraha'2 reagenssel maratva e) 520°C+540°C+500°C-on megeresztve, nitállal maratva f) 520°C+540°C+500°C-on megeresztve, Beraha'2 reagenssel maratva

Az alacsony hőmérsékletű egyszeri megeresztést kapott 4.-es minta szövetszerkezeti képén (4.ábra a), b) felvételei) nehezen maródó megeresztett martenzitet, maradék ausztenitet és primer karbidokat figyelhetünk meg. A kétszeres magas hőmérsékletű megeresztést kapott 7.-es minta mátrixában tapasztalt keménység növekedés a martenzit megeresztődésének, szekunder karbidok megjelenésének és a maradék ausztenit martenzitté alakulásának az eredménye (4. ábra c), d) felvételei). A háromszoros magas hőmérsékletű

megeresztéssel hőkezelt 8.-as jelű minta szövetszerkezetében a primer karbidok mellett finom diszperz eloszlású másodlagos karbidokat is megfigyelhetünk, ami magyarázza a jelentős keménységnövekedést.

4. Következtetések

Az EN 1.2379-es minőségű acél mintákon elvégzett hőkezelések, vizsgálatok és mérések alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- Az alacsony és magas hőmérsékletű ausztenítésítést követő edzés után a minták keménységei eltérőek lettek, a magasabb hőmérsékletről edzett darabok keménységi értékei kisebbek, mely szerintünk a maradék ausztenit mennyiségének köszönhető.
- A magas hőmérsékleten megeresztett darabok mátrixaiban mért mikrokeménységek nagyobb értéket mutatnak, mint az alacsony hőmérsékleten megeresztetteké. Ez a másodlagos karbidok kiválásának köszönhető.
- A magas hőmérsékleten, többszörösen megeresztett darabok mátrixaiban mért mikrokeménységek értékei a legnagyobbak, mely a másodlagos karbidkiválás kialakulásának valamint a martenzit megeresztődésének az eredménye.
- Az eredmények alapján az EN 1.2379-es minőségű hidegalakító szerszámacél esetében a jó tulajdonságok elérése érdekében a magas edzési és többszörösen magas megeresztési hőkezelést javasoljuk.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton kívánnak köszönetet mondani munkánkhoz nyújtott anyagi támogatásért az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt keretében a Magyar Államnak és az Európai uniónak.

The authors acknowledge the financial support of this work by the Hungarian State and the European Union under the EFOP-3.6.1-16-2016-00010 project.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] *Böhler katalógus, Böhler Edelstahl GmbH, K 110 DE – 10.98 – 1000 N.*
- [2] *Szombatfalvi Árpád: A hőkezelés technológiája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.*
- [3] *Kisfaludy Antal- Réger Mihály- Tóth László: Szerkezeti anyagok I.-II. (BMF/ÓE jegyzet), 1995.*
- [4] *Gáti József-Horváth László- Kisfaludy Antal- Kovács Mihály- Réger Mihály- Tóth László: Anyagtechnológia II, 272-318 oldal, (BMF/ÓE jegyzet), 1998.*
- [5] *Smoling Kálmán: Hőkezelési példatár, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1981.*
- [6] *G.F. Vander Voort, Metallography: Principles and Practice, McGraw-Hill Book Co., NY, 1984; ASM International, Materials Park, OH, 1999*
- [7] *Muneo Yaso- Shuhei Hayashi- Shigekazu Morito, Takuya Ohba, Kunichika Kubota, Kouji Murakami: Characteristics of Retained Austenite in Quenched High C –High Cr Alloys Steels, Materials Transactions, Vol.50, No.2 pp 275-279, 2009*
- [8] <http://www.georgevandervoort.com/metallography/general/iron-and-steel/20001265-martensite-retained-austenite-article.html>
- [9] *Fábián E. R – Dobránszky J- Csizmazia J- Ott R: Effect of Laser Beam Welding on the Microstructure of Duplex Stainless Steels; Materials Science Forum, 885, pp245-250, 2017*
- [10] *Varbai Balázs - Pickle Timothy- Májlinger Kornél: Development and Comparison of Quantitative Phase Analysis for Duplex Stainless Steel Weld, Periodica Politechnica Mechanical Engineering 62 (3) pp 247-253, 2018*

Alacsony foszfortartalmú Cr-Mo ötvöztetésű acélok ausztenit szem nagyságának mérése

Measuring austenitic grain size of low-phosphorus Cr-Mo alloy steels

Dr. Veres Zsolt¹, Stefán Mária Viktória¹



Alacsony foszfortartalmú Cr-Mo ötvöztetésű acélok ausztenit szem nagyságának mérése

VERES ZSOLT, STEFÁN MÁRIA VIKTÓRIA

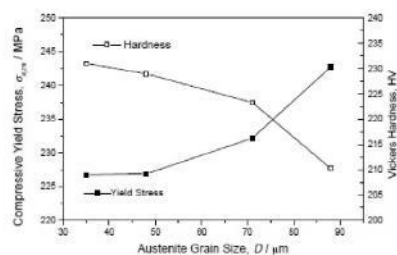
MISKOLCI EGYETEM, FÉMTANI, KÉPLÉKENYALAKÍTÁSI ÉS NANOTECHNOLÓGIAI INTÉZET



Ausztenit szem nagyság

A hőkezelt szerszámacélok mechanikai tulajdonságait jelentős mértékben befolyásolja a primer ausztenit szem nagysága. A nagyobb szem nagyság az ütőmunkát növeli, a keménységet csökkenti.

A primer ausztenit szem nagyságot indirekt módon tudjuk megmérni, hiszen az ausztenit fázis átalakult.



J. Otubo et al., influence of austenite grain size on mechanical properties of stainless SMA, Material Transactions, 2002

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

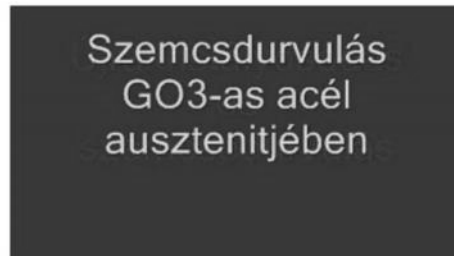
Az ausztenit durvulása

A szem nagyság jellemzésére a gyakorlatban leggyakrabban használt mérőszám a fokozatszám (m), amely az 1mm² területre eső szemcsék számából (N_A) számolható:

$$N_A = 2^{m+3} \cdot \left(\frac{1}{\text{mm}^2}\right)$$

$$m = \frac{\lg N_A}{\lg 2} - 3$$

Az ausztenit szem nagyság fokozatszáma az ausztenitesítési hőmérséklet növelésével lineárisan, az idejével logaritmikusan csökken.

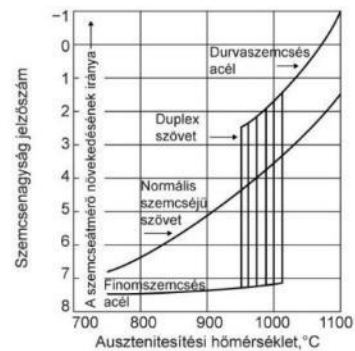


A felvételt készítette: Roósz András

Az ausztenit durvulása

Finomszemcsés acélok viselkedése

Duplex szövet kialakulása

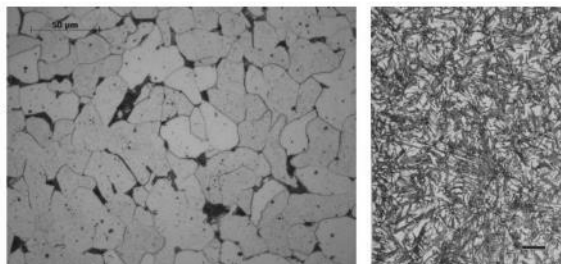


Hári László, Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat, 2013

Ausztenit szem nagyság mérése

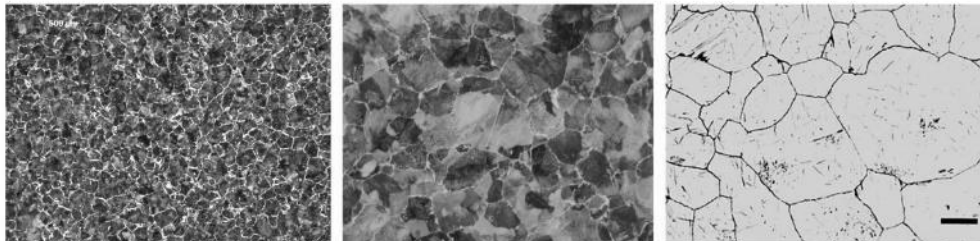
Sok alkalmazott marószerszer korlátozott esetekben használható : Nital, Vasklorid, Vasklorid-hidrogénklorid oldat.

Csak a szekunder szövetet mutatják ki



Ausztenit szemnagyság mérése

Ferritháló, cementitháló mérése, McQuaid-Ehn teszt



Fotó: George F. Vander Voort

Ausztenit szemnagyság mérés

Edzett megeresztett szövet esetében nehéz láthatóvá tenni az ausztenit szemcsehatárt.

1955 Bechet and Beaujard megeresztési ridegség vizsgálata közben alkalmazott telített pikrinsavat maradáshoz, amihez nátrium-alkil-szulfanátot adtak nedvesítőszerként. Rájöttek, hogy az ausztenithatáron dúsult foszforral láthatóvá lehet tenni az ausztenithatárokat



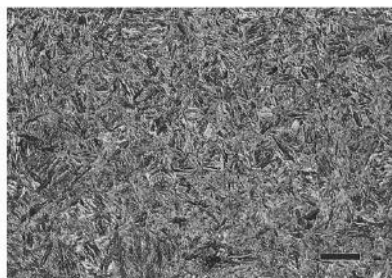
Ausztenit szemnagyság mérés

Vannak azonban ötvözők, amelyek gátolják a foszfor dúsulását az ausztenit kristályhatárokon, mint pl. a Mo.

Ezért a Mo ötvöztetésű acéloknál a módszer nem vagy csak részlegesen alkalmazható.

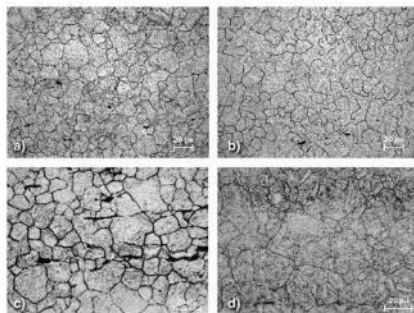
Barracrough azt találta, hogy ha a darabot 50-85°C hőmérsékletűre hevíti, hatékonyabb a maratás.

Ő volt, aki először óvatosan megpolírozta maratás után is darabot.



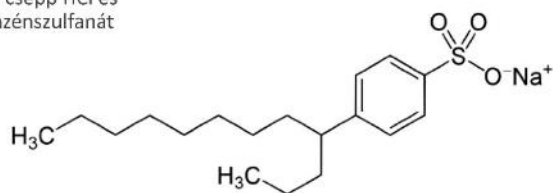
Ausztenit szemnagyság mérés

Brownrigg adott először néhány csepp HCl-ot az oldathoz, ezzel tovább fokozva a hatékonyságát a marószerek.



Ausztenit szemnagyság mérés

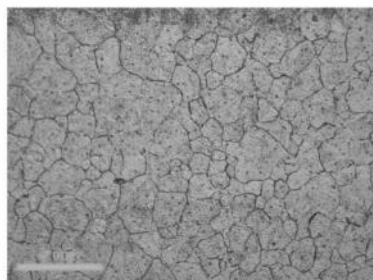
George Vander Voort kísérletei szerint az edzett megresztett kis foszfortartalmú Mo ötvöztetésű acélok ausztenit szemcsehatárainak láthatóvá tételére a legalkalmasabb marószert a telített vizes pikrinsav néhány csepp HCl és néhány ml nátrium-dodecil-benzénszulfonát (nedvesítőszer) hozzáadásával



Ausztenit szemnagyság mérés

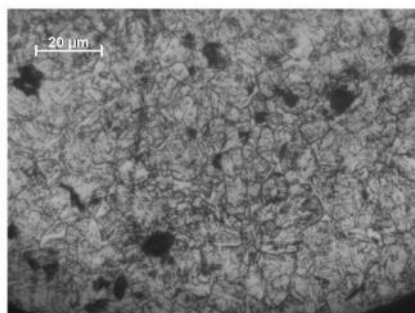
A minta-előkészítés lépései:

1. Körültekintő csiszolás polírozás
2. Maratás a fenti marószerekben 50°C feletti hőmérsékleten, 7 percig
3. Enyhe polírozás
4. Szükség esetén újabb maratás 3-4 percig
5. Enyhe polírozás



Saját mérések

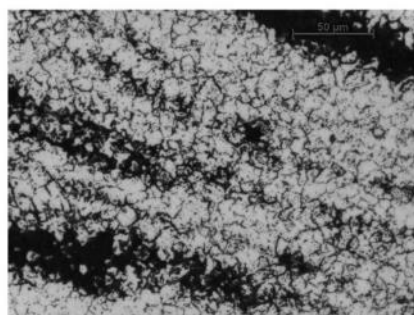
A fent bemutatott eljárással előkészített minta azzal a különbséggel, hogy szőnyegtisztítót használtunk nedvesítésre, ami tartalmazott ~30% nátrium-dodecil-benzénszulfanátot



Saját mérések

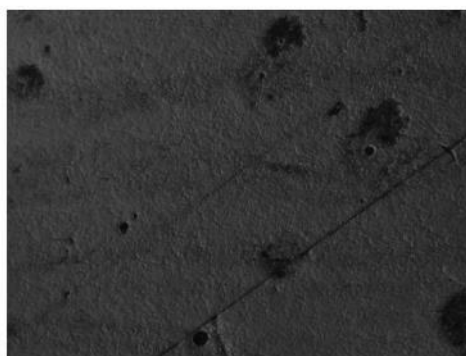
A fent bemutatott módon előkészített minta nátrium-dodecil-benzénszulfanát alkalmazásával

$C_p = 0,016 \%$



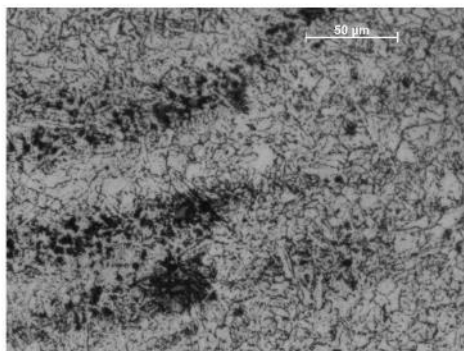
Saját mérések

A fent bemutatott módon előkészített minta nátrium-dodecil-benzénszulfanát alkalmazásával
 $C_p = 0,008 \%$



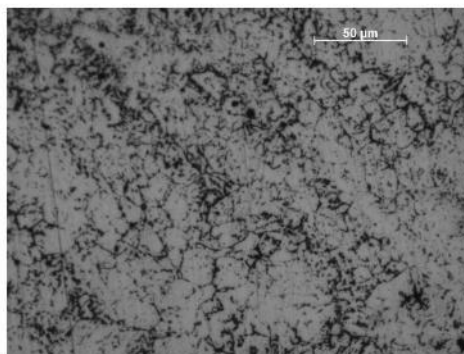
Saját mérések

Az első maratás után óvatosan
visszapolírozott, majd 3 percig újra
maratott és polírozott minta



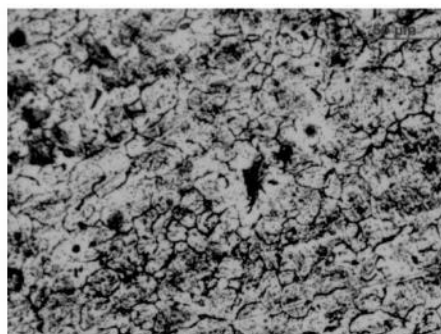
Saját mérések

Az első maratás után óvatosan
visszacsiszolt, polírozott, majd 3 percig
újra maratott és polírozott minta



Saját mérések

450°C-on hőkezelt minta a szokásos
előkészítés után $C_p = 0,009\%$





Összegzés

A 0,018%-nál kisebb foszfortartalmú 42CrMo4 jelű acélban az ausztenit szemcsehatárok megjelenítése esetleges, a pontos körülmények leírása nem megoldott.

Tervezzük magasabb foszfortartalmú acélon elvégezni a különböző előkészítési lépéseket, és amikor azon megismertük a különböző lépések paramétereinek hatását, újra elvégezzük azokat az alacsony foszfortartalmú darabokon.



Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Varga Zsoltnak és a Flansch-tech Kft.-nek a nagyszerű feladatot és hogy hozzájárultak a felvételek közléséhez!

"Az előadásban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"

Köszönöm a figyelmet!

Különböző összetételű acél alapanyagok szilárd közegű boridálása szelektív forrasztószerszámok élettartam növelésére

Solid medium boridation of various steel materials for increasing the service life of selective soldering tools

Sályi Zsolt¹, Dr. Kuzsella László², Dr. Benke Márton¹

Bevezetés

Napjainkban a forrasztóipar óriási fejlődésen megy keresztül. A nyomtatott áramkörök, elektronikai chipek szinte az emberek mindennapjainak részévé váltak. Az elektronikai iparnak lépést kell tartani az emberek egyre növekvő igényeivel ezért elengedhetetlen, hogy a forrasztó ipar is nagy tömegben pontos és precíz forrasztásokat legyen képes végrehajtani. Az iparban is használt szelektív hullámforrasztó szerszámok gyors tönkremenetele azonban hátráltatja a megfelelő forraszkötések kialakítását, valamint a cseréjük kiesést eredményez a termelésből [1-12].

A forrasztószerszámok tönkremenetele egyre inkább felgyorsult, amikor az Európai Unió törvénybe foglalta az ólom kivonását a forrasztóanyagokból (néhány kivételes esettől eltekintve) és teret engedett az új Sn alapú forrasztóanyagok alkalmazásának (RoHS - Restriction of the use of Certain Hazardous Substances) [13]. A forrasztószerszámok tönkremenetelének lassítása vagy akár megakadályozása olyan feladatot jelent a mérnökök számára, mellyel érdemes foglalkozni. Fontos ugyanis, hogy egy vállalat versenyképes tudjon maradni a piacon és minimalizálja a hibás forraszkötések számát. A szerszámok cseréje további költséget jelent, de ami még ennél is nagyobb probléma, hogy a szerszámok cseréje további kiesést jelet a termelésből [14,15].

Korábban már foglalkoztunk ezzel a jelentős problémával és olyan új megoldásokat, anyagkombinációt kerestünk és teszteltünk laboratóriumi körülmények között, melyek megoldást jelenthetnek az iparban is jelentkező szerszámtönkremeneteli problémákra. [16,17]. Egy új kutatási terület a diffúziós boridálás alkalmazása szelektív forrasztószerszámokon ígéretes eredményekkel kecsegtet. A vas-borid réteget az iparban főleg jó mechanikai tulajdonságai miatt használják pl. kopásállóság, sűrűlódási igénybevétellel szembeni ellenállóképesség, nagy keménység [21,22]. Több szakirodalom is vizsgálja a vas-borid réteg ellenállóképességét fémolvadékokkal szemben, valamint agresszív savakkal és lúgokkal szemben [18-20]. Kutatásunkban a réteg forrasztóolvadék szembeni viselkedését vizsgáljuk, vagyis ennek lehetséges alkalmazhatóságát a forrasztóiparban jelentkező szerszámtönkremeneteli problémákra.

Jelen munkánk célja megvizsgálni, hogy a különböző összetételű acélokon milyen szerkezetű boridált réteg hozható létre szilárd közegű boridálással, valamint a kialakult réteg keménységének jellemzése és összehasonlítása az alapanyag keménységével. Továbbá megvizsgáljuk, hogy a termokémiai hőkezelést követően mely fázisok alkotják a boridált réteget és összehasonlítjuk a szakirodalomban fellelhető mérési eredményekkel.

Elvégzett vizsgálatok

A vizsgálatainkhoz DC04, C45, CK60, S103 és W302 acél alapanyagokból 17 mm X 12 mm X 5 mm méretű, téglatest alakú próbatestek kerültek kimunkálásra. Az így kialakított próbadarabok ezután sikköszörűvel lettek pontos méretűre alakítva. A pontos mintageometria kialakítása után a darabokat benzines folttisztítóval megtisztítottuk a mintakivágás, forgácsolás, valamint köszörülés során felületre tapadt olajos szennyeződésektől. A tisztítási eljárás követően egy rövid szárítást követően a darabok szilárd közegű boridálása következett. A diffúziós boridálás során a mintadarabokat egy acéltégelybe helyeztük, majd alumínium-oxid és bór-karbid porkeverékével, valamint 15 g kálium-tetrafluorboráttal katalizátorral feltöltöttük addig, amíg a porkeverék teljesen ellepte a mintadarabokat. Ezt követően a porkeveréket az acéltégelyben egyenletesen betömörítettük, majd egy acéllemezzel lezártuk. Az oxidáció elkerülése miatt az acéllemez tetejére

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

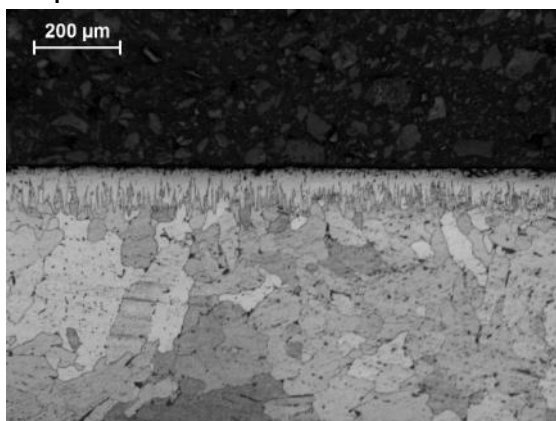
² Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

egy vastagabb alumínium-oxid porréteget vittünk vel, melyet szintén betömörítettünk. A tömörítést követően az alumínium-oxidporrétegre szintén egy acéllemezt tettünk, majd az egész acéltégelyt feltöltöttük szilícium-karbid porral melyet úgyszintén betömörítettünk. Ezt követően a tégelyre egy légmentesen záródó fedelet helyeztünk és az egész tégelyt három fázisú ellenállás fűtésű kamrás kemencébe helyeztük 910°C-ra 3,5 óráig. A termokémiai hőkezelést követően a tégelyt kivettük a kemencéből és kivettük a mintadarabokat a tégelyből. A mintákat ezt követően megtisztítottuk a rátapadt porszennyeződésektől. A boridáló hőkezelés után a darabok mikroszerkezetvizsgálata következett. Először a mintadarabokból keresztcsiszolatot készítettünk, melyet melegbeágyazással beágyaztunk és a csiszolatot síkköszörűvel párhuzamosra munkáltuk ki úgy, hogy a darabokon kialakult külső boridált réteg ne sérüljön meg. Ezt követően az acélokra alkalmazott csiszolási, polírozási és maratási eljárással előkészítettük a mintákat az optikai mikroszkópos vizsgálatokra. Az optikai mikroszkópos vizsgálatokhoz Zeiss Axio Imager M1m típusú mikroszkópot használtunk. A darabokon ezt követően mikrokeménységmérés történt Instron Tukon 2100 B berendezéssel. A boridált mintákon keménységfutamot mértünk, hogy össze lehessen hasonlítani a külső réteg keménységét az alapanyag keménységével. Ez követően a boridált réteg keménységmérését végeztük el, ahol a mért keménységértékeket átlagoltuk, hogy megkapjuk a boridált kéreg átlagos keménységét. A vizsgálatok röntgendiffrakciós fázisazonosítással folytatódtak, hogy megtudjuk milyen kristályos fázisokból épül fel a boridált réteg. A röntgendiffrakciós vizsgálatokat Bruker D8 Advanced berendezéssel hajtottuk végre.

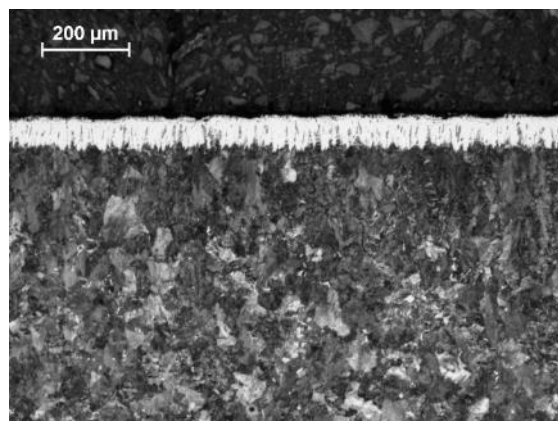
Vizsgálati eredmények

Optikai mikroszkópos vizsgálatok eredményei

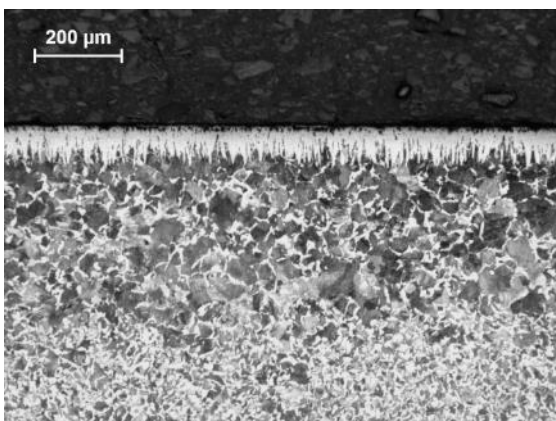
Az 1. ábrán a különböző összetételű acél alapanyagokon létrehozott boridált réteg optikai mikroszkópos képe látható 100x-os nagyításban. A boridált réteg 500x-os nagyítású képeit a 2. ábra mutatja be.



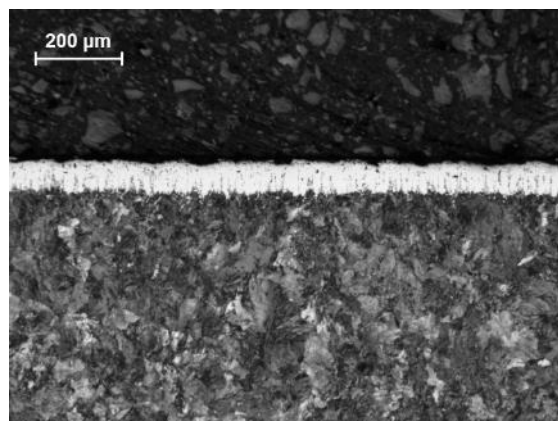
a) DC04



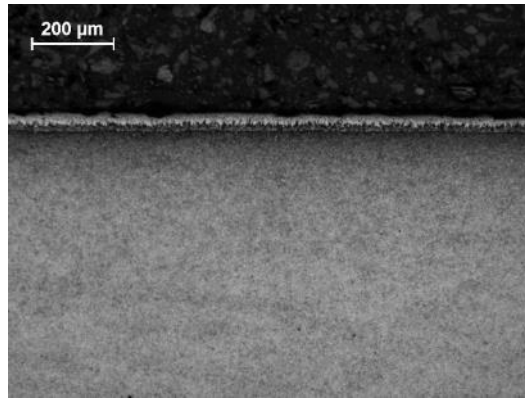
c) CK60



b) C45

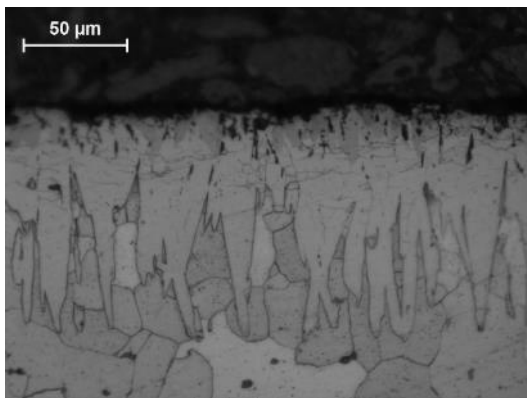


d) S103

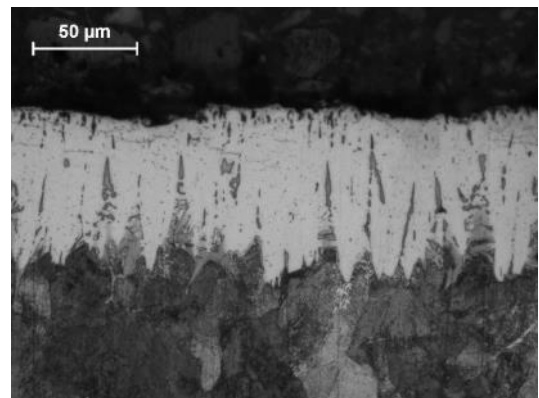


e) W302

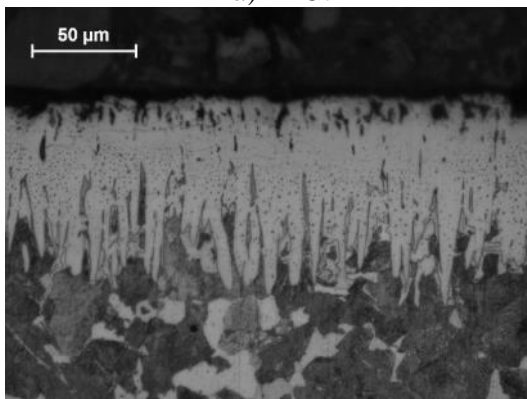
1. ábra: A boridált acélok keresztcsiszolatának optikai mikroszkópos felvétele 100x-os nagyításban



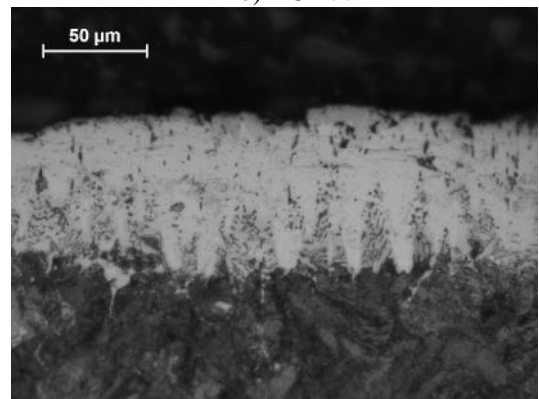
a) DC04



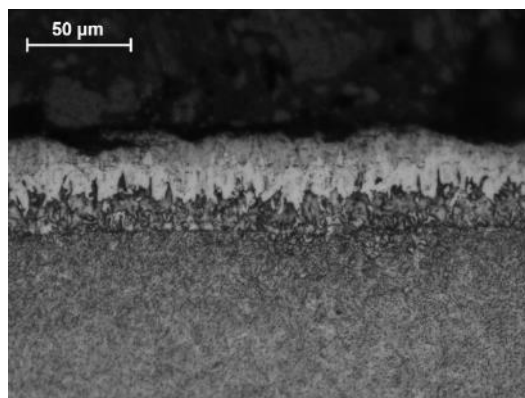
c) CK60



b) C45



d) S103



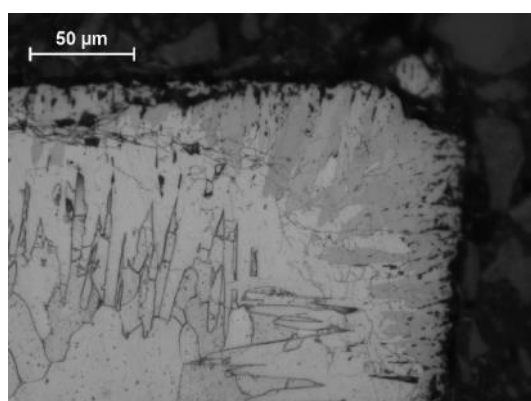
e) W302

2. ábra: A boridált acélok keresztcsiszolatának optikai mikroszkópos felvétele 500x-os nagyításban

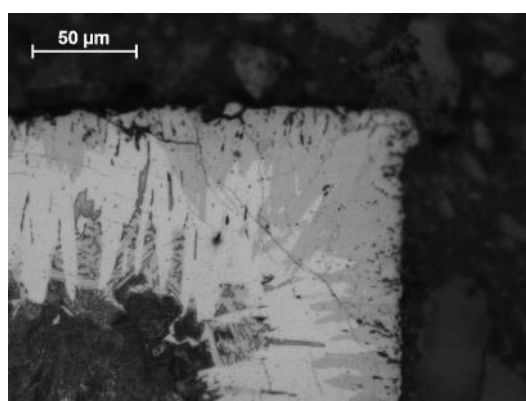
Az 1. ábrán látható 100x-os nagyítású felvételekből megállapítható, hogy a boridáló hőkezelés minden acél alapanyagon összefüggő, hibamentes réteget eredményezett a felületen. Továbbá az is szembetűnő, hogy a boridált réteg vastagsága közel azonosnak tekinthető, az alacsony ötvözttségű karbonacélokon (DC04, C45, CK60, S103), míg a krómmal, szilíciummal, molibdénnel és vanádiummal erősen ötvözött W302-es acél esetében a rétegvastagság kisebb volt, valamint az acél szubsztrát közelében egy ötvözőkben dúsabb réteg is húzódik. Ennek a rétegnek a vizsgálatához azonban nagyobb nagyítású felvételek készítésére volt szükség.

A 2. ábrán az 500x-os nagyítású felvételeken megfigyelhető, hogy a boridált réteg minden esetben fűrészfogszerű szemcseszerkezetet mutat. A DC04-es acélon ez a fűrészfog szemcseszerzetű réteg a legszembetűnőbb. A W302-es acélnál látható továbbá egy jellegzetes dúsulási zóna az alapanyag és a borid réteg között, melynek vizsgálata fontos lehet, ha meg akarjuk érteni az eltérő szerkezetű boridált réteg kialakulásának okait.

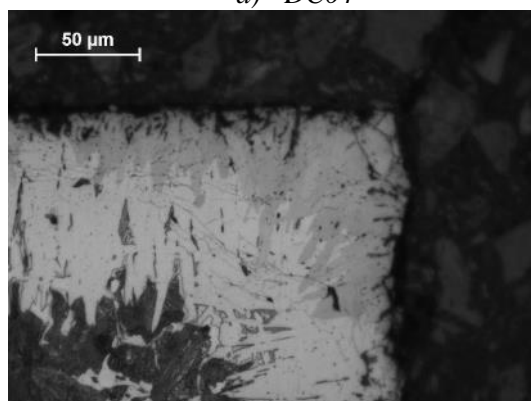
A 3. ábrán a boridált réteg optikai mikroszkópos felvételei láthatóak az acél próbadarabok sarkain 500x-os nagyításban.



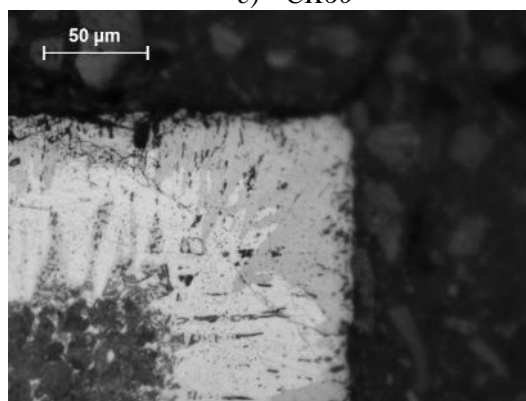
a) DC04



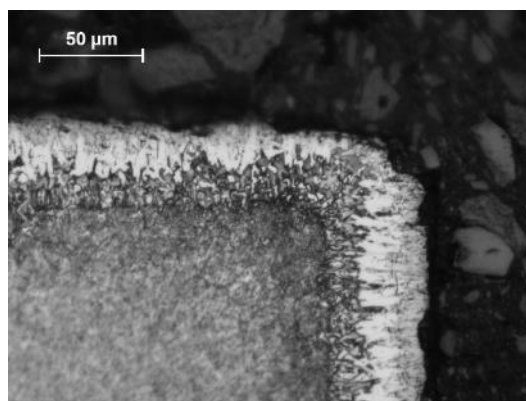
c) CK60



b) C45



d) S103



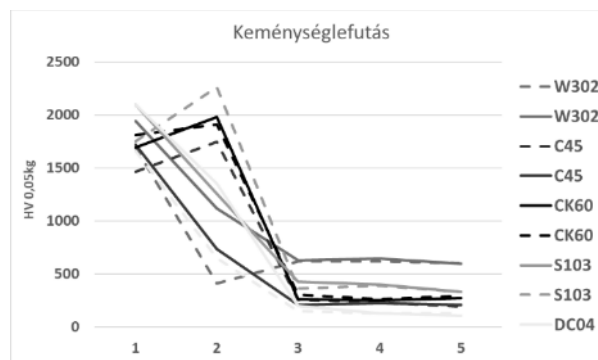
e) W302

3. ábra: A boridált acélok optikai mikroszkópos felvételei a mintadarabok sarkain.

A 3. ábrán megfigyelhető, hogy a boridálás után a minták sarkain is azonos vastagságú réteg alakul ki, hasonlóan, mint a darabok felületén. Jól látható továbbá, hogy a boridált kéreg a sarkokon eltérő színű. Összehasonlítva a felvételeket a szakirodalommal megállapítható, hogy a külső sötétebb színű terület FeB-ból, míg az alatta kialakuló világosabb színű réteg Fe₂B-ből tevődik össze. Az FeB a darab felületén is vékony rétegben kialakul, azonban a sarkokon sokkal vastagabb és mélyebb rétegbe is behatol. Összehasonlítva a felvételeket a W302-es acél sarkán kialakuló borid réteggel megállapítható, hogy az FeB vastagsága a sarkokon jóval kisebb, inkább a boridált réteg alatti dúsulási zóna megvastagodása jelentős. A boridált kéregben jelentkező mikrorepedések a mintadarabolás és mintaelőkészítés során keletkeztek, amit a réteg nagy keménysége és ridegsége indokol.

A mikrokeménység mérés eredményei

A 4. ábra a mintadarabokon a keménységtraverz mért értékeit mutatja. A mérés során minden darabon két keménységfutatást mértünk tíz pontban, azonban a diagramban csak a boridált réteg szélétől számított első öt pont lett ábrázolva, ugyanis az 5. mérés után gyakorlatilag már csak az alapanyag keménysége volt mérhető. A Vickers keménységmérés során a terhelőerőt 0,05 kg-ra állítottuk be.



4. ábra: A keménységfutas mért értékei

A 4. ábráról megállapítható, hogy a boridált réteg az alapanyaghoz képest jóval keményebb, a DC04-es acél esetében a boridált kéreg több mint 10x keményebb, mint maga az alapfém. A legkeményebb W302-es acél esetében is a boridált réteg közel 3x keményebb az alapanyagnál.

Az 1. táblázat célzottan a borid réteg keménységének mért értékeit mutatja. A mikrokeménység mérés során ugyanazokat a paramétereket alkalmaztuk, mint a keménységfutas mérése során. A méréseket tíz pontban végeztük el, majd az eredményeket kiátlagoltuk, így megkaptuk a boridált réteg átlagos keménységét.

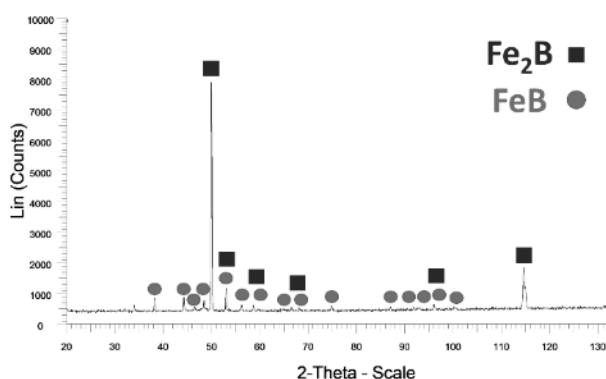
4. táblázat: A boridált réteg keménysége

DC04	C45	CK60	S103	W302
HV 0,05	HV 0,05	HV 0,05	HV 0,05	HV 0,05
1911	2138	2020	1532	1845
1781	1749	1879	2056	2059
1845	1781	1781	2020	1532
1982	2020	1691	1911	2097
1911	1352	2097	2135	1556
1752	2017	1749	1781	1558
2020	1811	1945	1811	1911
1982	2264	1879	2135	1876
2178	1985	1582	1847	2404
1947	1693	2264	1911	1982
átlag: 1931	átlag: 1881	átlag: 1889	átlag: 1914	átlag: 1882

A boridált réteg keménységvizsgálatából megállapítható, hogy a zóna átlagkeménysége 1881-1931 HV között változik. A réteg keménysége minden acél alapanyagon egyenletes, a legkeményebb réteg azonban mégis a leglágabb DC04-es szubsztráton volt mérhető. A mérések során nem volt ritka a 2000 HV fölötti keménység érték sem.

A röntgendiffrakciós vizsgálatok eredményei

Az 5. ábra a boridált C45-ös acél diffraktogramját mutatja.



5. ábra: Röntgendiffrakciós fázisazonosítás

Megfigyelhető, hogy a felületről csak az FeB és az Fe₂B fázisok reflexiója detektálható, az alapanyag ferrit reflexiójáról azonban nem kapunk diffrakciós csúcsokat.

Következtetések

A vizsgálati eredményekre alapozva megállapítható, hogy a szilárd közegű boridáló hőkezeléssel egyenletes és hibamentes réteg kialakítására van lehetőség. Minden vizsgált acél alapanyagon a réteg vastagsága megfelelő, vékonyabb és eltérő szerkezetű boridált réteg a krómmal erősen ötvözött W302-es acél esetében volt tapasztalható. A boridált acélok sarkainál is egyenletes rétegvastagság érhető el ezzel a technológiai eljárással, a sarkoknál detektálható mikrorepedések a mintadarabolási és mintaelőkészítési eljárásból adódnak a réteg nagy keménysége és ridegsége miatt. A réteg kohéziója az alapfémmel minden acél alapanyag esetében megfelelő, nem tapasztalható leválás, lepattogzódás vagy repedés a borid réteg és az alapanyag között még az agresszív mintaelőkészítési eljárás hatására sem. Diffúziós boridálással igen nagy keménységű felületi réteg elérésére van lehetőség, DC04-es acél esetében a réteg keménysége 10x-e az alapfém keménységének és még a legkeményebb W302-es acél esetében is 3x-os keménységnövelés érhető el. A boridált réteg átlagkeménysége 1881-1931 HV között változik viszont érdekes, hogy a legnagyobb keménységet a leglágabb DC04-es acélnál mérhető, egyes pozíciókban pedig nem volt ritka a 2000 HV fölötti keménység sem. A röntgendiffrakciós vizsgálatok kimutatták, hogy két típusú borid fázis képződik a diffúziós hőkezelés után. A külső FeB fázis sötétebb színnel jelentkezik, míg alatta az Fe₂B fázisból érkeztek reflexiók. Összehasonlítva a szakirodalomban található eredményekkel, azok jó egyezést mutatnak a fázisazonosítás elvégzése után. Összegezve elmondható, hogy amennyiben a boridált acélok megfelelő ellenállást mutatnak forraszolvadékokban, a szilárd közegű boridálás alkalmas eljárás lehet szelektív hullámforrasztó szerszámok tönkremenetelének megakadályozására, hiszen a réteg összefüggő határfelületet képez az acélokon az agresszív ólommentes forraszolvadékokkal szemben. További vizsgálatok azonban elengedhetetlenek a réteg viselkedésének és nedvesítőképességének megállapítására forraszolvadékkal szemben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. A cikkben ismertetett kutatómunka egy része a GINOP-2.3.2-15-2016-00027 jelű projekt keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A szerzők köszönetet mondanak Bartók Andrásnak a boridáló hőkezelésben nyújtott segítségével, Márkus Zoltánnak és Bán Róbertnek a mintakivágásért valamint megmunkálásért, illetve Márkus Zoltánnéknak a mintaelőkészítésekért és Bodnárné Nyári Napsugárnak a keménységmérésben nyújtott segítségével.

Irodalomjegyzék

- [1.] H. Nishikawa, T. Takemoto, K. Kifune, T. Uetani, N. Sekimori, *Mat Trans* 45 No 3 (2004) 741-746
- [2.] Information on http://www.elexp.com/Images/Weller_Coping_with_Lead_Free.pdf
- [3.] D. Shangguan, *Lead-free solder interconnect reliability*, ASM International, 2005.
- [4.] G. Henshall, J. Bath, C. A. Handwerker, *Lead-free solder process development*, Wiley, 2011.
- [5.] H. Ipsier, *JMM* 43 B (2) (2007) 109-112
- [6.] Kroupa, A.T. Dinsdale, A. Watson, J. Vrestal and A. Zemanova, *JMM* 43 B (2) (2007) 113-123
- [7.] Kroupa, A. Dinsdale, A. Watson, J. J. Vřešťál, A. Zemanova, P. Broz, *JMM* 48 (3) B (2012) 339-346
- [8.] T. Takemoto, T. Uetani, M. Yamazaki, *Solder Surf MT Tech* 16 Iss. 3 (2004) 9-15
- [9.] H. Nishikawa, S. Kang, T. Takemoto, *TJWRI* 38 (2009) No.2 53-56.
- [10.] Information on <http://www.circuitspecialists.com/blog/soldering-tip-care-tips>
- [11.] H. Nishikawa, A. Komatsu, T. Takemoto, *Mat Trans* 46 (2005) 2394-2399
- [12.] J. Watanabe, N. Sekimori, K. Hatsuzawa, T. Uetani, I. Shohji, *J Phys, Conf. series* 379 (2012) 012025 1-10
- [13.] http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-standards/restriction-of-hazardous-substances/index_en.htm
- [14.] Regős Péter: *Az ólommentes forrasztás, előadás kivonat*, Budapest, Műszaki Egyetem, 2006. március 22, 25, 29.
- [15.] www.mti.kvk.uni-obuda.hu/adat/tananyag/anyag/banki/8_forrasztas.ppt
- [16.] Sályi Zsolt: *Szelektív forrasztószerszám bevonatok fejlesztése*, Miskolci Egyetem, 2014 Szakdolgozat
- [17.] Benke Márton, Sályi Zsolt, Rugóczki Péter, *TiB₂ bevonattal ellátott C45 típusú acél viselkedése nyugvó SAC309 forrasztóvadékban: Bányászati és Kohászati Lapok 2018/3. szám*
- [18.] R. H. Biddulph, *Boronizing for erosion resistance*, *Thin Solid Films*, 45 (1977) 341-347
- [19.] Y. Wang, J. Xing, S. Ma, B. Zheng, G. Liu, D. Yang, Y. Bai: *Interface characterization and erosion–corrosion behavior of directional Fe-3.5 wt.% B steel in flowing liquid zinc at various temperatures*, *Corrosion Science* 104 (2016) 260-268
- [20.] D.N. Tsipas, G.K. Triantafyllidis, J. Kipkemoi Kiplagat, P. Psillaki: *Degradation behaviour of boronized carbon and high alloy steels in molten aluminium and zinc*, *Materials Letters* 37 (1998) 128-131
- [21.] M. Tabur, M. Izciler, F. Gul, I. Karacan: *Abrasive wear behaviour of boronized AISI 8620 steel*, *Wear* 266 (2009) 1106-1112
- [22.] S. Sen, I. Ozbek, U. Sen, C. Bindal: *Mechanical behaviour of borides formed on borided cold work tool steel*, *Surface and Coatings Technology* 135 (2001) 173-177

Alumínium ötvözetek homogenizálásának vizsgálata zömítővizsgálatokkal

Investigation of homogenization of aluminum alloys by compression testing

Kárpáti Viktor¹, Dr. Mertinger Valéria¹, Dr. Mikó Tamás¹, Dr. Benke Márton¹, Dr. Barkóczy Péter¹,
Angel Dávid Ádám¹, Dr. Gácsi Zoltán¹



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC



ALUFORM
GINOP-2.2.1-15-2016-00018

Alumínium ötvözetek homogenizálásának vizsgálata zömítővizsgálatokkal

¹Kárpáti Viktor, ¹Dr. Mertinger Valéria, ¹Dr. Mikó Tamás, ¹Dr. Benke Márton¹
Dr. Barkóczy Péter, ¹Angel Dávid Ádám, Dr. Gácsi Zoltán

¹Miskolci Egyetem, Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia és Szakkiállítás



Célkitűzések

- A hideg és melegalakíthatóság szimulációjára alkalmas gyors és megbízható módszer kidolgozása.
- A kísérlet során a hideg és meleghegerlés hatásait szimulálni.
- A homogenizálás során végbemenő folyamatok hatásának vizsgálata alumínium ötvözetek meleg és hidegalakíthatóságra.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

Alakítható alumínium ötvözetek

Az alumínium fehér fényű, kis sűrűségű fém, felületen középpontos kockarácsú, olvadáspontja (660°C), rugalmassági modulusa, fajlagos villamos ellenállása alacsony.

Az alakítható alumínium ötvözőit a következőképpen osztályozhatjuk:

- szilárdságot növelő ötvözők: **Cu, Mg, Si**
- a korrózióállóságot javító ötvözők: **Mn, Sb**
- a szemcsenagyságot csökkentő ötvözők: **Ti, Cr**
- a hőmérséklettel szembeni ellenálló képességet fokozó ötvöző: **Ni**
- forgácsolást könnyítő ötvözők: **Co, Fe, Bi.**

Vizsgált ötvözetek

Ötvözet	Al	Si	Mn	Fe	Mg	Zn	Pb	Cu	Cr	Ti	Cd	Ni	Zr
3003	97,99	0,23	1,1	0,53	0,016	0,023	0,001	0,057	0,004	0,022	0,0005	-	-
5005	98,48	0,14	0,054	0,47	0,77	0,008	0,001	0,012	0,014	0,012	-	-	-
5052	96,89	0,12	0,08	0,26	2,41	0,01	0,002	0,044	0,16	0,012	-	-	-
3H	95,76	0,79	1,61	0,25	0,009	1,49	0,001	0,043	0,002	0,014	-	-	-
01	96,78	0,75	1,22	0,48	0,013	0,013	0,001	0,56	0,004	0,12	-	-	-
38	97,97	0,06	1,09	0,2	0,006	0,02	0,01	0,52	0,001	0,125	0	0,003	0,003
3G	96,55	0,76	1,21	0,5	0,26	0,007	0,001	0,54	0,003	0,13	0,0005	0,004	0,003

A **3xxx** az ötvözetcsoporthoz a fő ötvözője a Mn, ami jellemzően 1% körüli érték. A fő ötvöző oldatban van, illetve különböző kiválások formájában, melyek jelentős hatást gyakorolnak az alakíthatóságra.

Az **5xxx** ötvözetek szintén az alakítható, nem nemesíthető alumínium ötvözetek közé tartoznak. Ennek az ötvözetcsoporthoz a fő ötvözője a Mg, ami jellemzően 0,7-2,4% körüli értékek között változik.

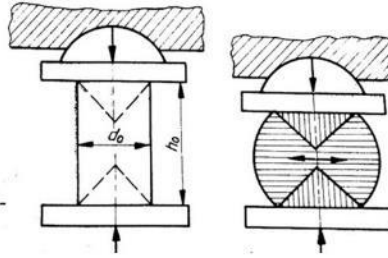
Hideg és melegalakítás

A hideg és melegalakítás közötti alapvető eltérés, hogy az **újrakristályosodás végbe megy-e az alakítás hőmérsékletén vagy nem.**

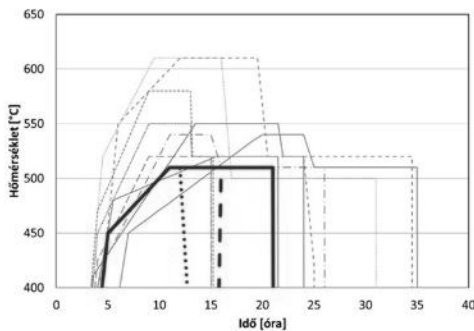
- **Hidegalakítás** → Nincs újrakristályosodás → Egydimenziós, vonalszerű rács hibák (diszlokációk) száma nő. → makroszkopikus alakváltozás → diszlokációsűrűség nő, az anyag keményedik, szemcseszerkezet változás
- **Melegalakítás** → Alakítás közben újrakristályosodás → dinamikus, statikus újrakristályosodás

Fémek zömítővizsgálata

- Fémek zömítése során egy d_0 kiinduló keresztmetszetű h_0 kiinduló magasságú hengeres geometriájú próbadarabot egytengelyű nyomó igénybevételnek vetünk alá, adott alakváltozási sebességgel, adott hőmérsékleten, a kívánt alakítás mértékig.
- Hengeres vagy négyzet alapú próbatest
- A vizsgálat a nyomóerő irányával megközelítőleg 45°-ban csúszásvonalak alakulnak ki.
- Ha nagy a próbatest magassága kihajlik, azonban ha túl kicsi a magassága, akkor olyan kötöttség lép fel, akkor csak nagy erővel lehet alakváltozást előidézni.
- A vizsgálat közben mérni kell az alakító erőt (F) és a hengeres próbatest magasságcsökkenését (ΔH).



Az alkalmazott hőkezelési terv

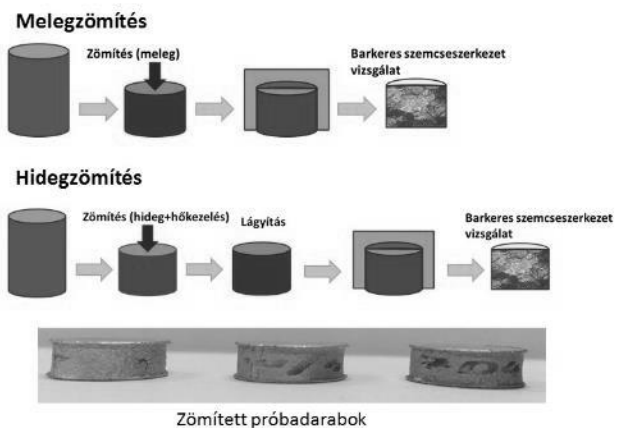


Felfűtés	Hűntetés	Felfűtés	Hőntartás
85°C/h	450°C	1 min	10°C/h
			510°C
			1
			5
			10

- Az Arconic-Köfém Kft. által alkalmazott üzemi homogenizáló hőkezelések egyikére fókuszáltunk.
- Legalacsonyabb hőmérsékletű homogenizálás.
- A homogenizálás csúcshőmérséklete 510°C, a homogenizálási időtartam 1, 5 és 10 óra.
- Azt modelleztük, amikor a valódi termelésben ugyanazon adag különböző okok miatt eltérő időtartamokig tartózkodik a kemencében.
- Azonos hőkezelési terv.**
- Változó anyagminőségű alumínium ötvözetek,**
- Változó homogenizálási idő (1, 5, 10 óra)**

A vizsgálatok menete

- A hengeres zömítőpróbák kimunkálása forgácsolással
- A zömítőpróbák geometriai meghatározása,
- Megfelelő kenőanyag kiválasztása (teflon),
- Zömítés elvégzése,
- Zömítés:
 - Hidegen (utána lágítás 500°C-on)
 - Melegen
- Zömített próbák ismételt geometriai meghatározása,
- Barkeres szemcseszerkezet vizsgálat
- Adatok kiértékelése



A vizsgálóberendezés, és mérési paraméterek

Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet
Mechanikai Anyagvizsgáló Laboratórium



Instron 5982 univerzális anyagvizsgáló berendezés

- Hideg zömítés esetén: 26°C, 1/s alakítási sebesség, 60%-os alakítás mértékkel, majd 500°C-os lágyítás
- Meleg zömítés esetén:
 - 400°C, hőntartás 30 s, induktorral, hőmérséklet mérése ellenőrzött hőelemmel,
 - 1/s az alakítási sebesség, 60%-os alakítás mérték



Nyomószerző és induktor

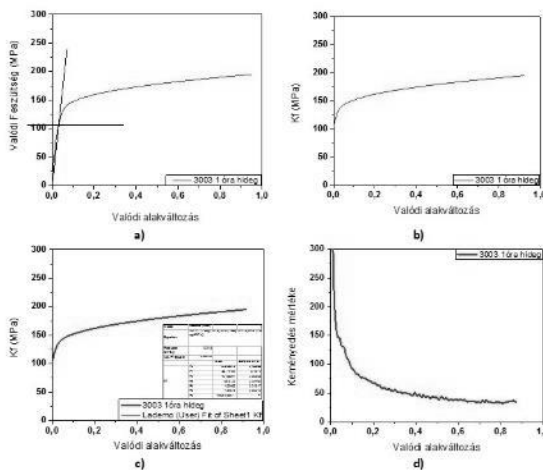


Indukciós generátor

Frekvencia szabályzásra alkalmas induktív generátor

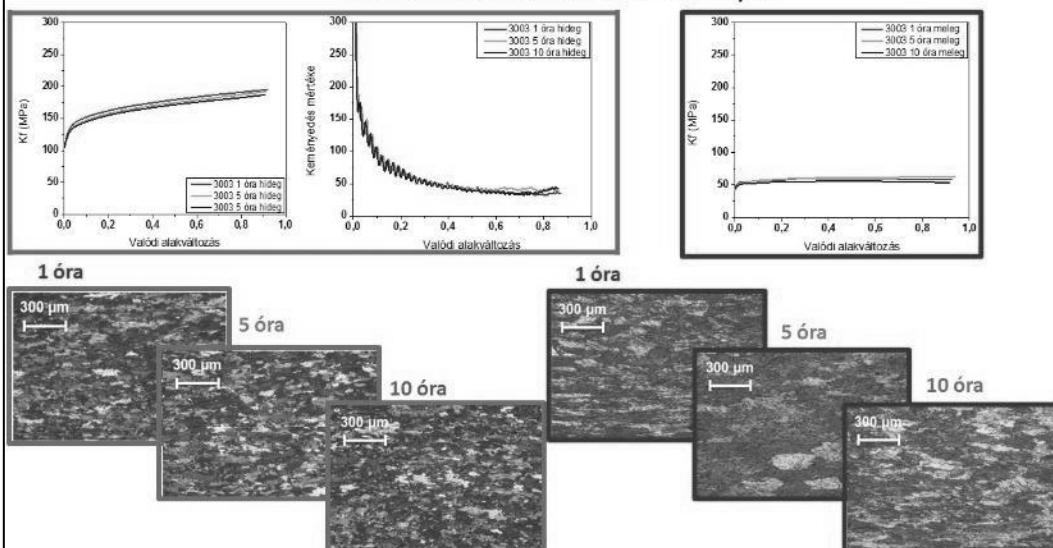
Alakítás elvégzésére alkalmas nyomószerző és a darabok hevítésére alkalmas egyedi induktortekercs

A zömítővizsgálatok kiértékelésének lépései

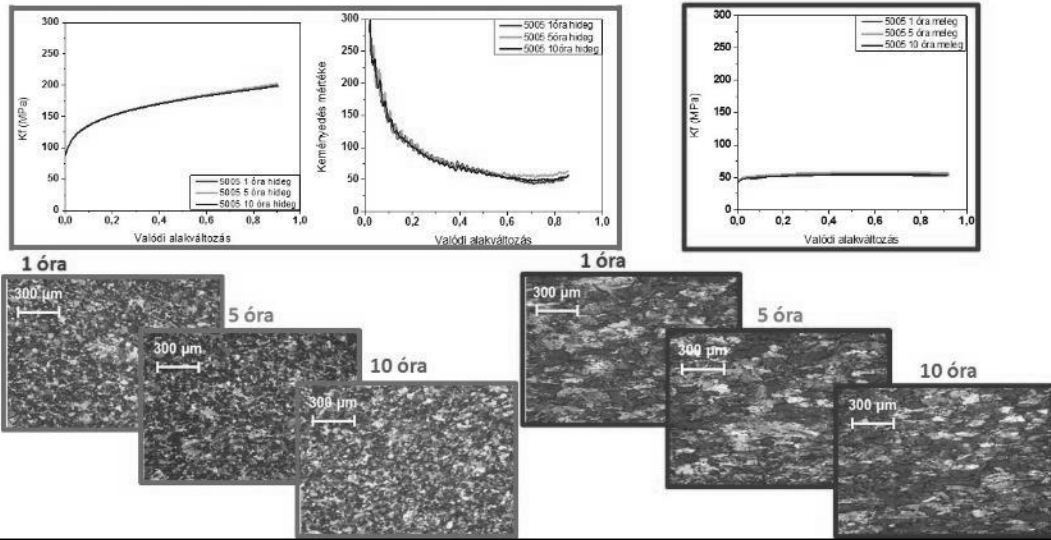


- Kinyert adatok → Valódi feszültség-valódi alakváltozás diagram
- Valódi feszültség-valódi alakváltozás diagram rugalmas szakaszának levágása → Kf görbe szerkesztése
- Kf görbére → Lademo függvény illesztés → függvény deriválás → keményedés mértéke
- Keményedés mértékének ábrázolása az alakváltozás függvényében

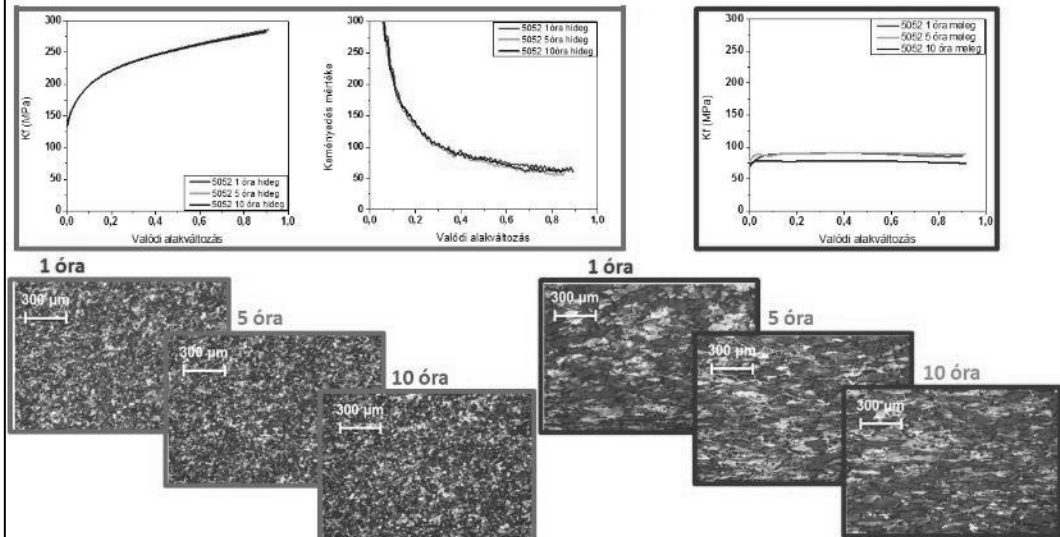
A 3003-as ötvözet eredményei



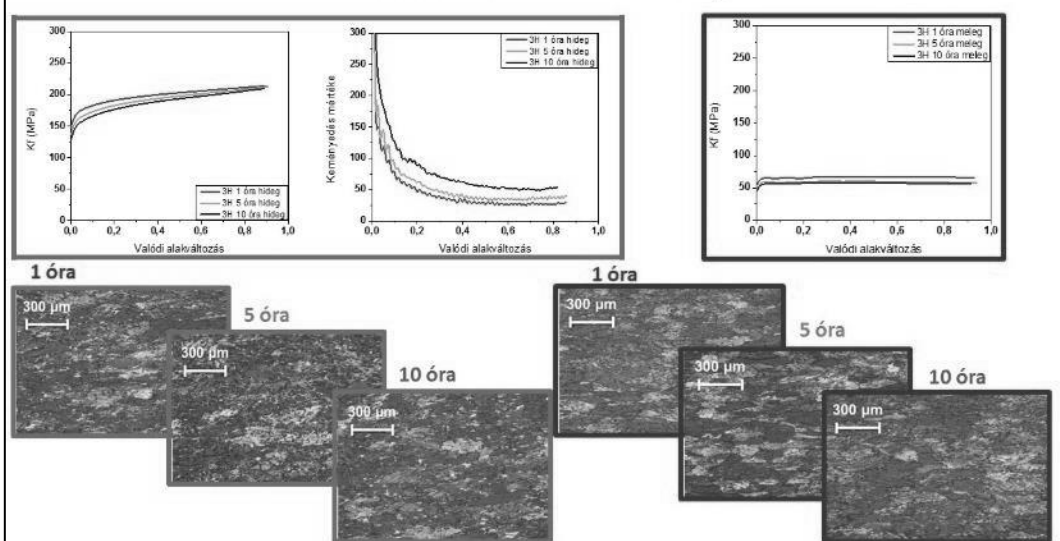
Az 5005-ös ötvözet eredményei



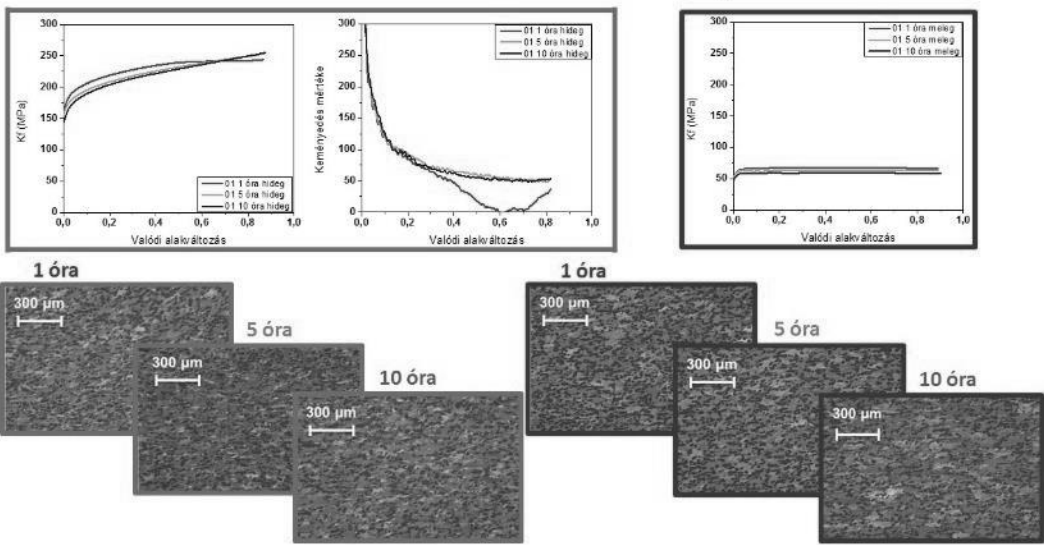
Az 5052-es ötvözet eredményei



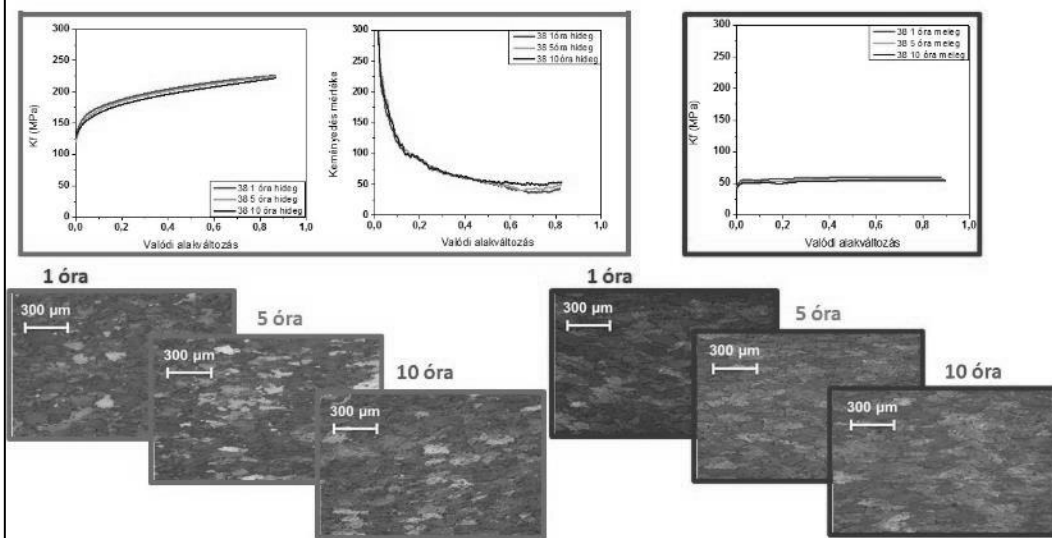
A 3H-s ötvözet eredményei



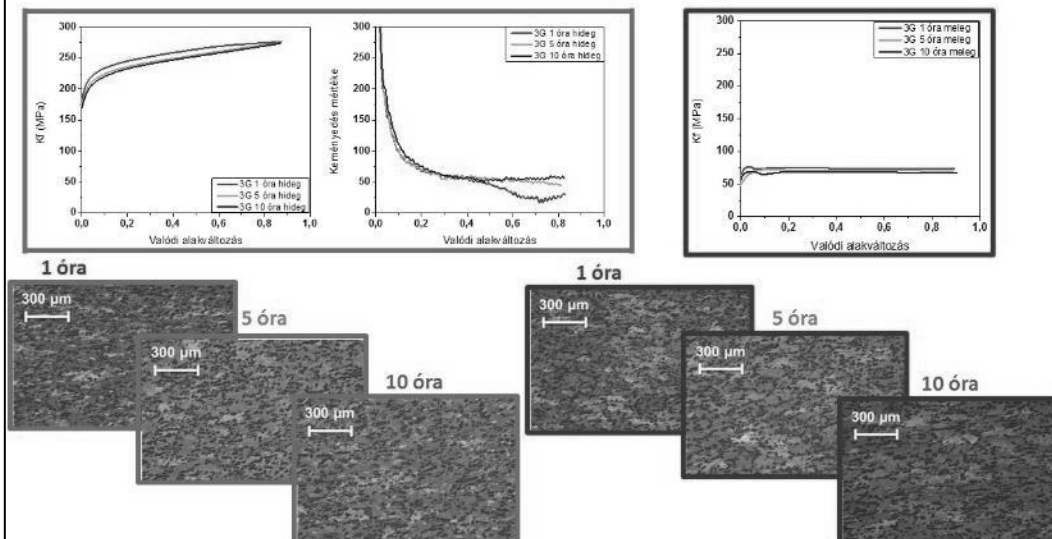
A 01-es ötvözet eredményei



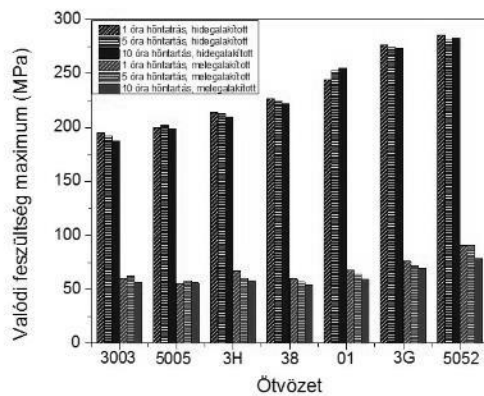
A 38-as ötvözet eredményei



A 3G-s ötvözet eredményei



A vizsgált ötvözetek mechanikai jellemzőinek összesítése



- Valódi feszültség maximumok eltérő homogenizálási idő függvényében.
- A legnagyobb valódi feszültség maximummal a nagy Mg tartalmú 5052-es ötvözet rendelkezik.
- A legkisebb valódi feszültség maximummal pedig a 3003-as.

Összefoglalás

- A vizsgált ötvözetek alakítási ellenállása azonos hőkezelést alkalmazva széles tartományban változik. **A legnagyobb valódi feszültség maximummal a nagy (2,41 m/m%) Mg tartalmú ötvözet rendelkezik, a legkisebbel pedig a leggyengébben ötvözött 3003-as.**
- Azonos hőkezelés esetén az **alakítási ellenállás értékeiket döntően az ötvözet összetétele határozza meg nem pedig a homogenizálás időtartama.**
- Kimutattuk, hogy a vizsgált ötvözetek esetében a **homogenizálási idő változása nem okoz érdemi eltérést sem a szilárdsági tulajdonságokban, sem pedig a szemcseszerkezetben.**
- **A hidegalakítást követő lágyítás után az 5005-ös és 5052-es ötvözetek teljes térfogatban újrakristályosodtak.** Ennek oka ezen ötvözetek nagy Mg tartalma ami elősegíti az újrakristályosodást.

Köszönetnyilvánítás

Kutatómunkánk GINOP-2.2.1-15-2016-00018 projekt keretében valósult meg.

A kutatómunkát az EFOP 3.6.1-16-2016-00011 jelű pályázat támogatta.

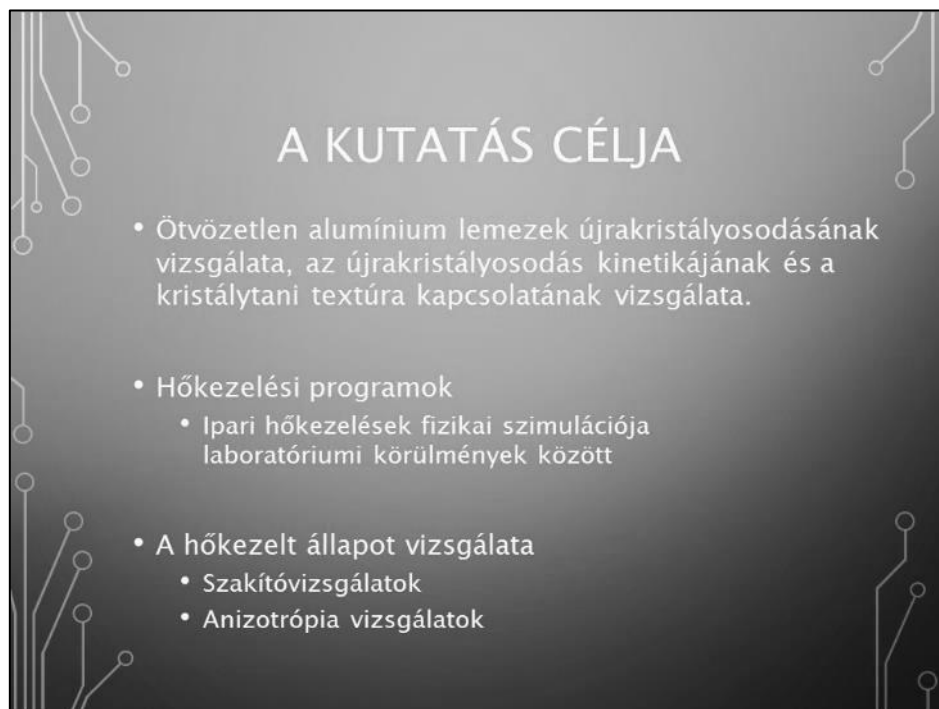
A kutatás eredményeinek konferencián történő bemutatását az NTP-HHTDK-18 azonosítójú pályázat támogatta

Köszönöm a figyelmet!

Lágyító hőkezelés során végbemenő fémtani folyamatok vizsgálata fizikai szimulációval alumínium ötvözetekben

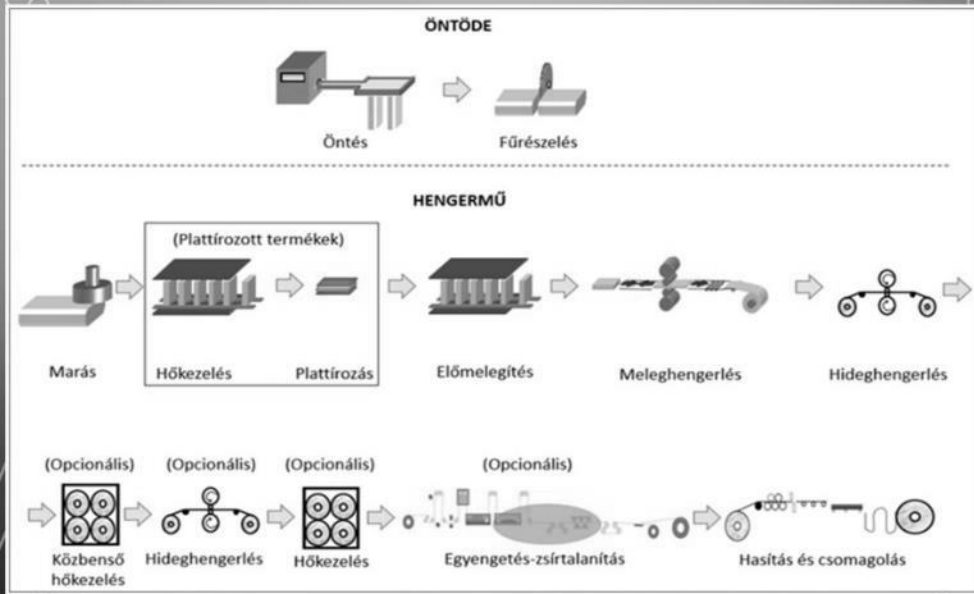
Investigating the metallography processes of annealing heat treatment by physical simulation in aluminum alloys

Schweitzer Bence¹, Dr. Nagy Erzsébet¹, Hlavács Adrienn¹, Farkas Zoltán¹, Dr. Barkóczy Péter¹



¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

LÁGYÍTÓ HŐKEZELÉS A TECHNOLOGIA SORBAN



VIZSGÁLATI ANYAG



Anyagminőség: 0,3 mm vastag ötvöztelen alumínium lemez

Próbatestek

Textúra vizsgálat



3,5 mm x 3,5 mm

Anizotrópia vizsgálat



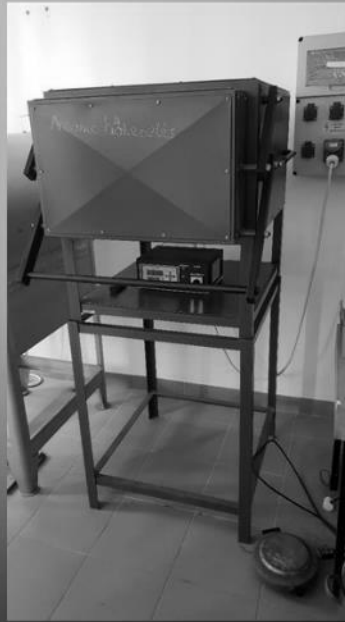
10 mm x 10 mm

Szakítóvizsgálat

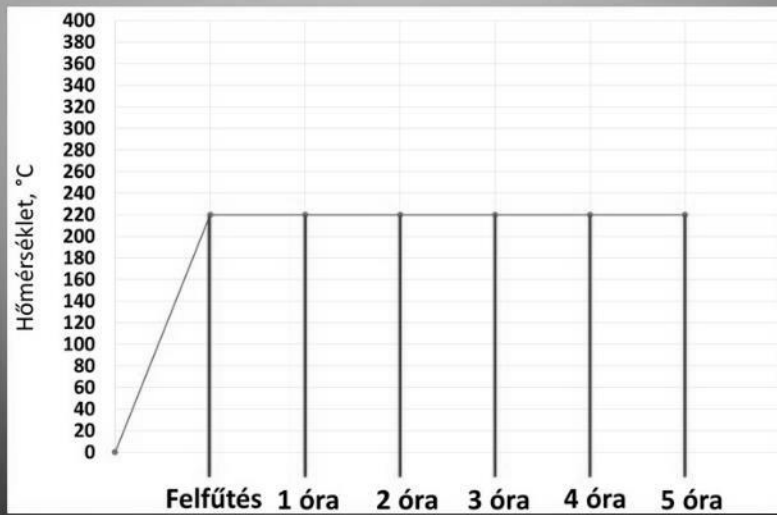


HŐKEZELÉSI PROGRAMOK

Hőmérséklet, °C	Idő
220	1 óra
	2 óra
	3 óra
	4 óra
	5 óra
260	1 óra
	2 óra
	3 óra
	4 óra
	5 óra
300	15 perc
	30 perc
	45 perc
	60 perc
	120 perc
340	10 perc
	20 perc
	30 perc
	45 perc
380	2 perc
	4 perc
	6 perc
	8 perc
	10 perc



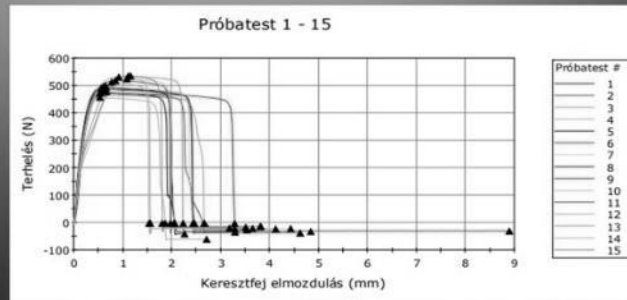
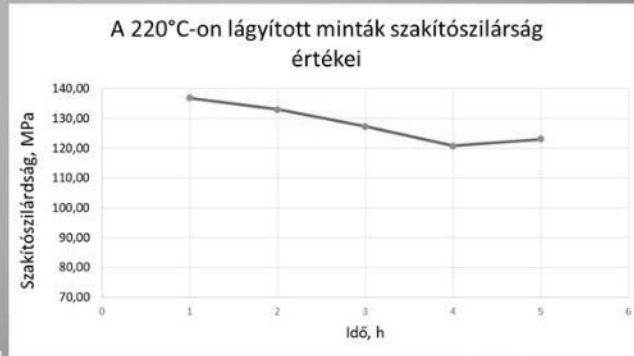
220°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS



220°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS

SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

Szakítóvizsgálatokat
elvégezte: Farkas Zoltán

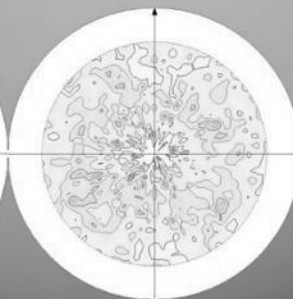
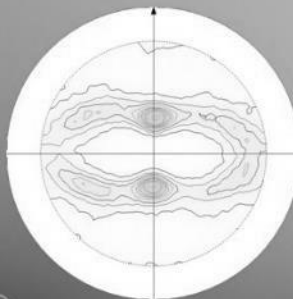


ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK

{111}

{111}

{111}



HI

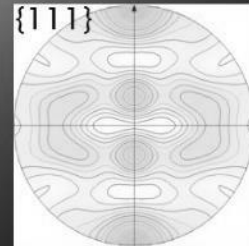
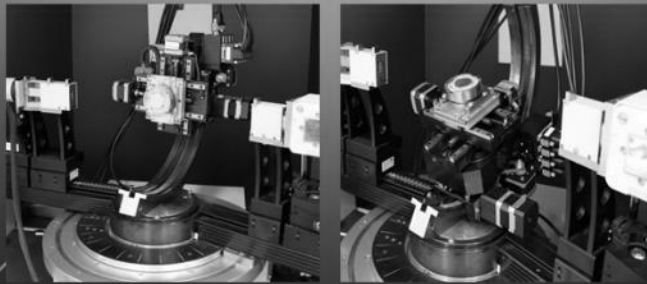
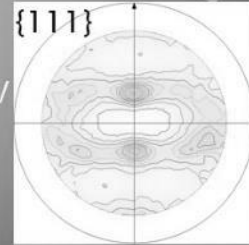
Hengerelt

Izotróp

Újrakristályosodott

ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK

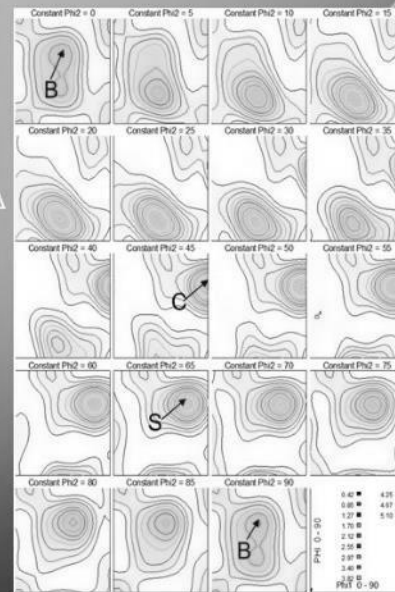
- Pólusábra készítés
 - Euler bölcsovel felszerelt Bruker D8 Advance diffraktométer
 - A vizsgálat paramétereit: CoK α sugárzás, 40 kV csőfeszültség, 40 mA áram, gyűjtési idő 10 s, lépésköz ($\Delta 2\theta$) 0,05
- Pólusábrák újraszámítása
 - „holtterek” kiszámítása



ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK

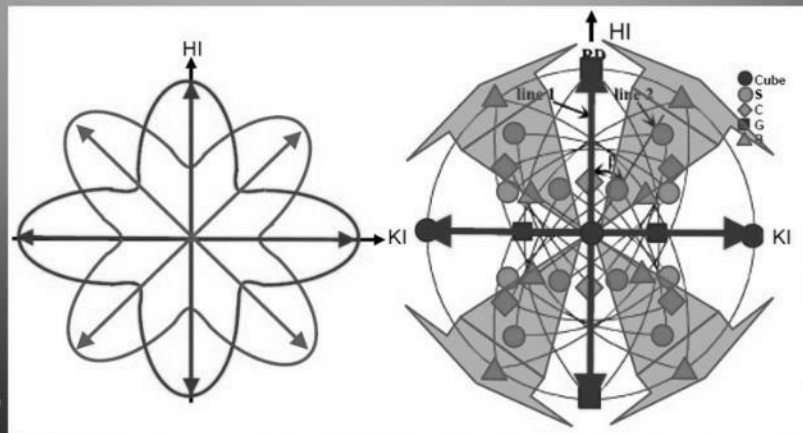
- ODF metszetek készítése
- Textúra-komponensek
 - Jellemző textúra-komponensek és mért textúra-komponensek térfogathányadának kiszámítása 15 Δ szögeltérés (szórás) mellett

Textúra-komponensek	Euler szögek			
	Φ_1	Φ	Φ_2	
C	90°	30°	45°	Alakítási textúra-komponensek
S	59°	34°	65°	
B	35°	45°	0°/90°	
G	0°	45°	0°/90°	Újrakristályosodási textúra-komponensek
Cube	0°	0°	0°/90°	



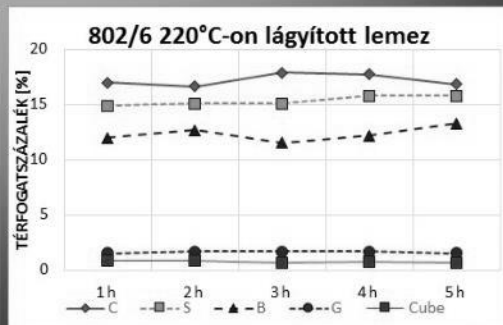
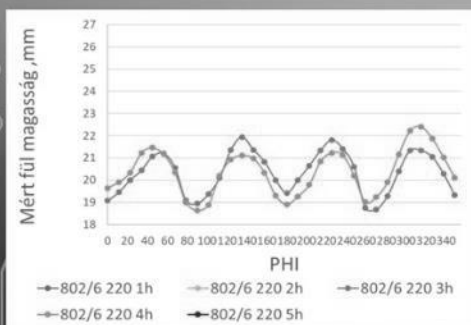
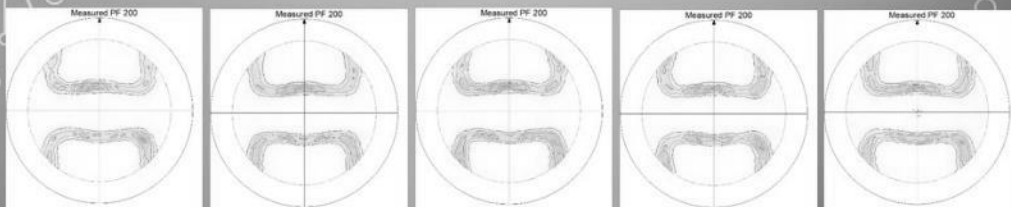
ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK

- Füledés iránya és a nevezetes textúra-komponensek iránya hasonló



ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK

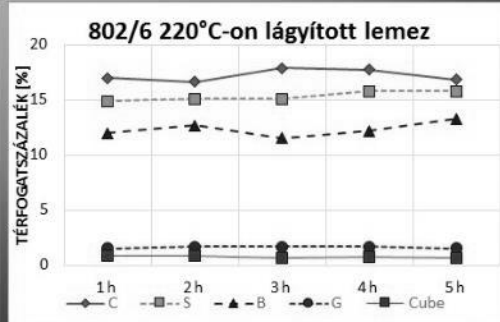
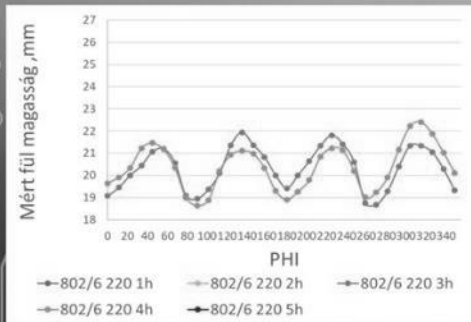
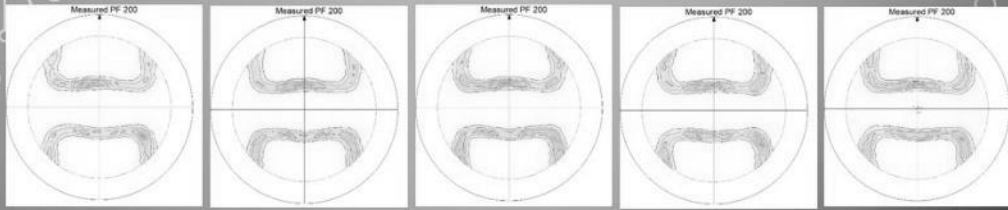
Textúra vizsgálatokat elvégezte: Hlavács Adrienn



Nem ment végbe újrakristályosodás.

ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK

Textúra vizsgálatokat elvégezte: Hlavács Adrienn

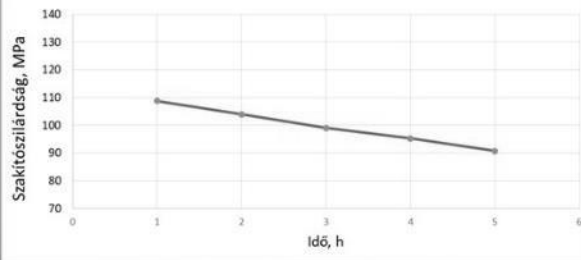


Nem ment végbe újrakristályosodás.

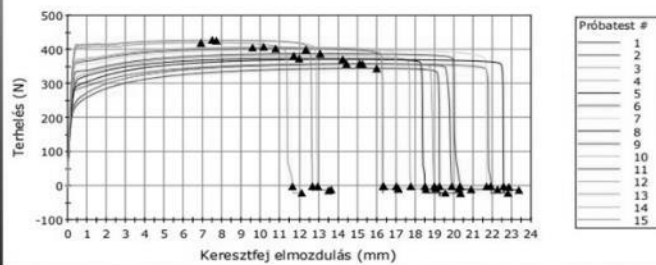
260°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS

SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

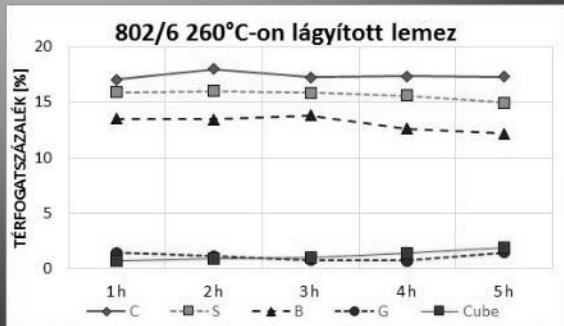
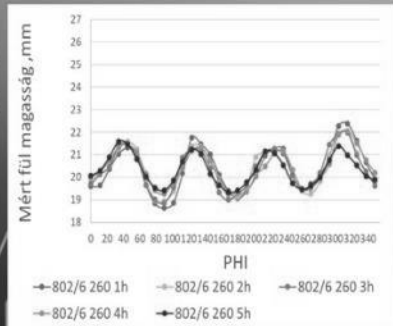
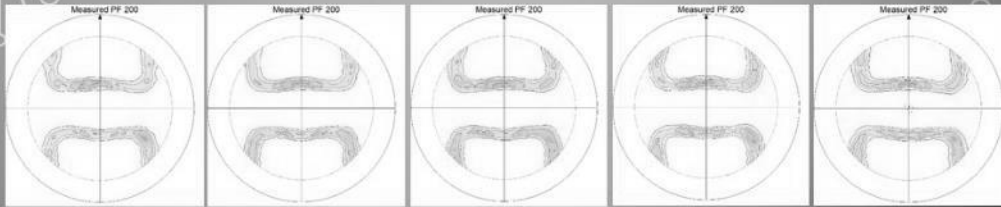
A 260°C-on lágyított minták szakítószilárdság értékei



Próbatest 1 - 15

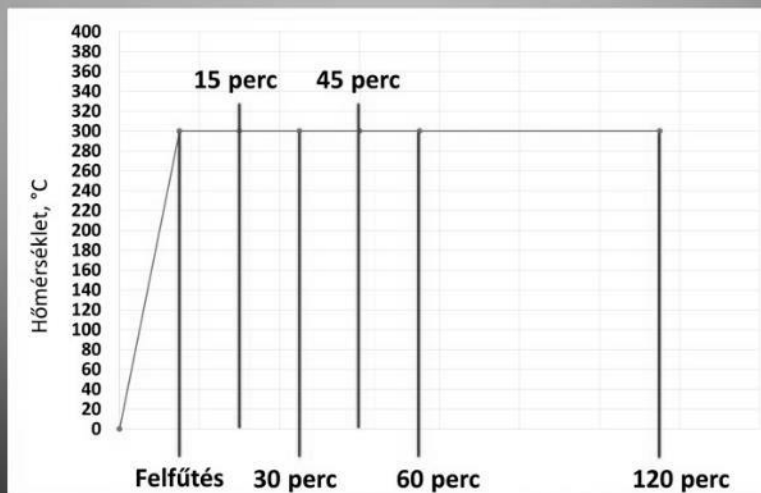


ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK



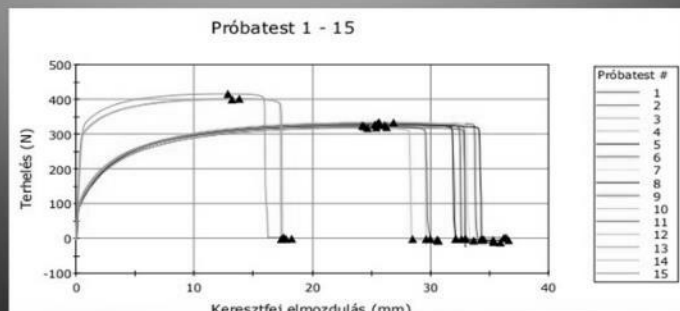
Nem ment végbe újrakristályosodás.

300°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS

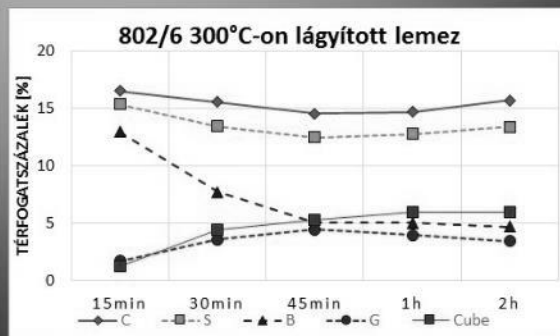
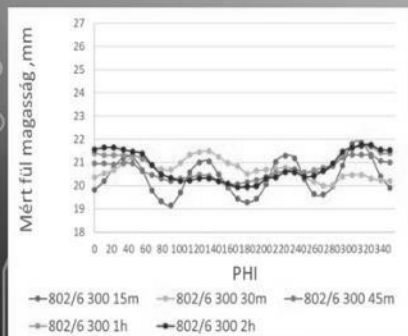
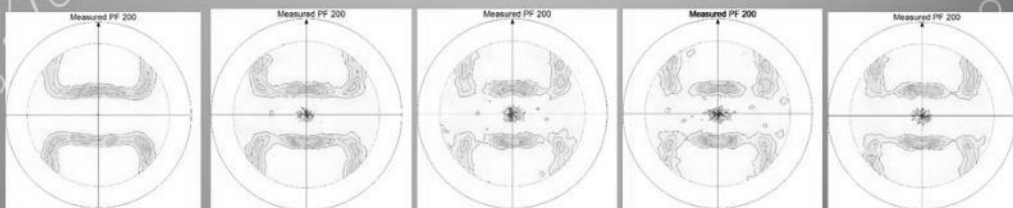


300°C CSÚSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS

SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

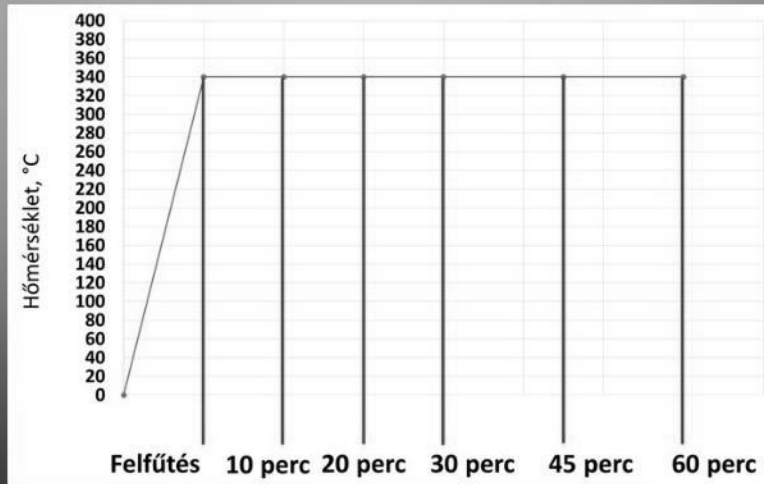


ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK



Elkezdődött, de nem teljesen ment végbe újrakristályosodás.

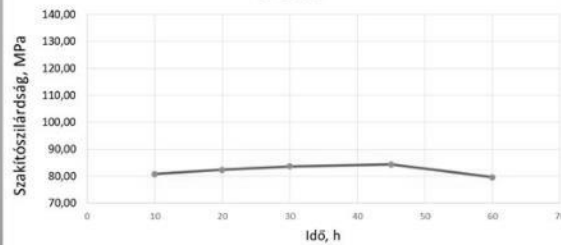
340°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS



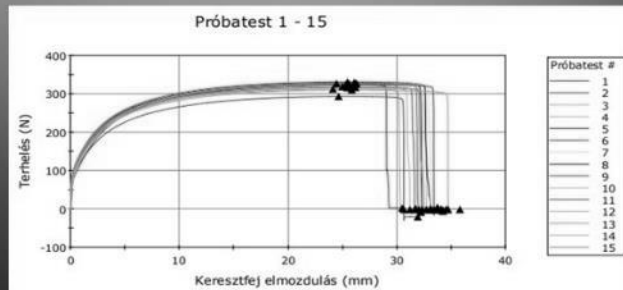
340°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS

SAKÍTÓVIZSGÁLAT

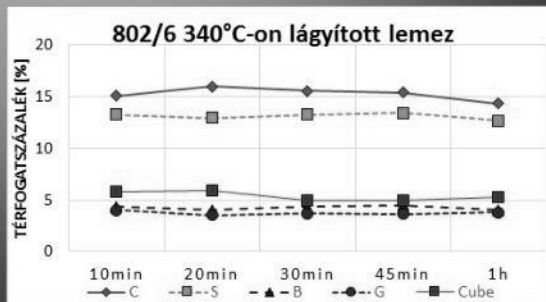
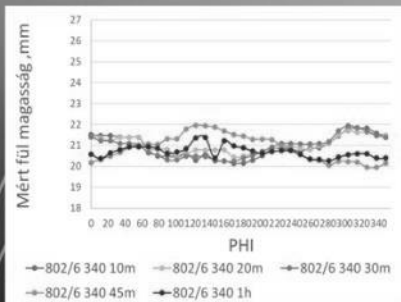
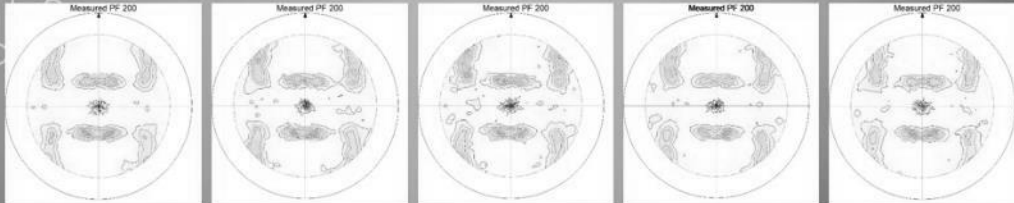
A 340°C-on lágyított minták szakítószilárdság értékei



Próbatest 1 - 15

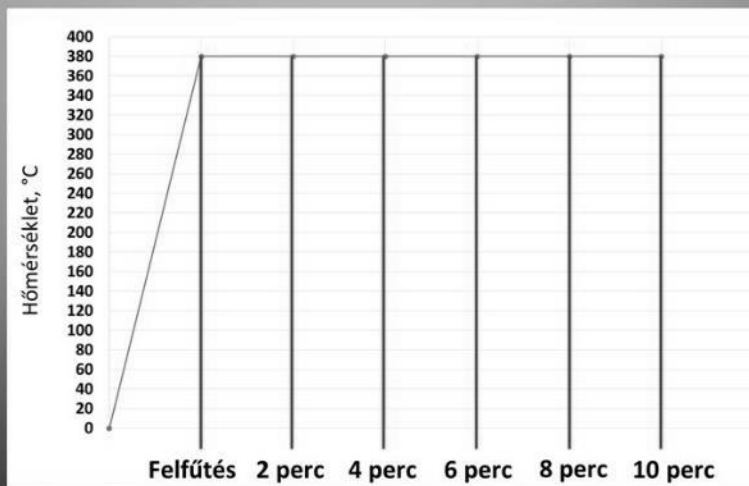


ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK



Elkezdődött, de nem ment végbe újrakristályosodás.

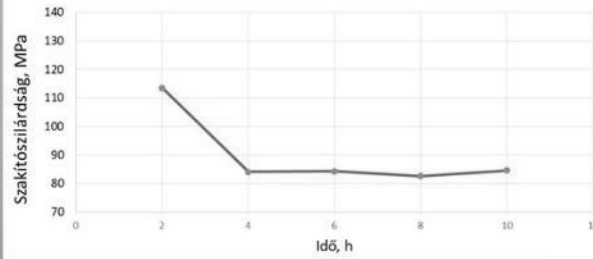
380°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS



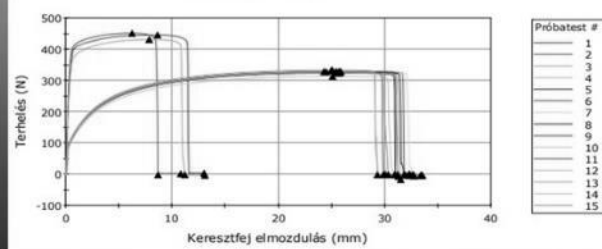
380°C CSÚCSHŐMÉRSÉKLETŰ HŐKEZELÉS

SAKÍTÓVIZSGÁLAT

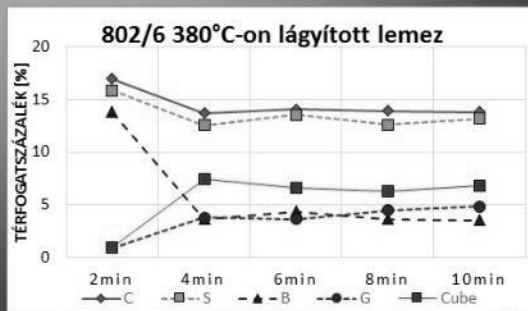
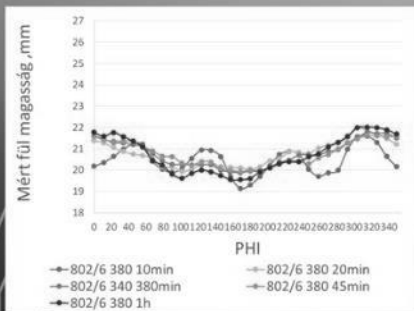
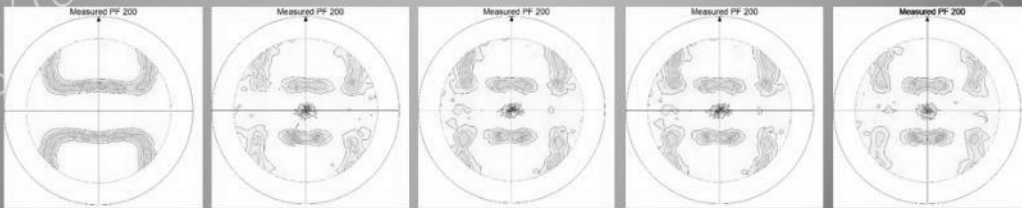
A 380°C-on lágyított minták szakítószilárdság értékei



Próbatest 1 - 15



ANIZOTRÓPIA VIZSGÁLATOK



Elkezdődött, de nem ment végbe újrakristályosodás.

ÖSSZEGRZÉS

- Ötvözetlen alumínium lemez lágyításakor a megújulás meghatározó folyamat.
- A vizsgált hőkezelések esetén teljes újrakristályosodás nem ment végbe.
- Amikor a lágyulást megújulás okozza a fülesedés erősen jelentkezik.
- Az újrakristályosodási komponensek megjelenésével a fülesedés mértéke csökken.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

- *"Az előadásban ismertetett kutató munka Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-1-I. ME/28. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával és az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem - Innovatív Tudásváros - a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként - a Széchenyi 2020 keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg,*

XXVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban
Országos Konferencia és Szakkiállítás





KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Alumínium öntvények hőkezelése a HŐKER Kft. üzemében

Heat treatment of aluminum castings at HŐKER Kft.

Török Antal¹

Bevezetés

Néhány évtizeddel ezelőtt az volt az alumínium felhasználással kapcsolatos előrejelzés, hogy a repülőgépipar robbanásszerű növekedése kapcsán, ennek a könnyűfémnek a legnagyobb felhasználója a repülőgépgyártás lesz. Ekkor túl költségesnek gondolták az alumínium felhasználását a gépjárművek esetében és az volt az elképzelés, hogy a gépkocsinak az acél marad a fő szerkezeti anyaga. Nem ez következett be. Ma már kompozit anyagokból gyártják az új fejlesztésű, nagyméretű utasszállító gépeket, ezzel szemben az alumínium felhasználása robbanásszerű mértékben növekedett és növekedik az autópárhazban.

Az autópárhazban használatos alumíniumöntvényekkel kapcsolatban a legfontosabb elvárás a nagy maradó alakváltozó-képesség a nagy szilárdság mellett. Ehhez új technológiákra, új berendezések fejlesztésére volt szükség. Ezen belül is más-más elvárások jelentkeztek a gépkocsi-alkatrészekkel kapcsolatban, attól függően, hogy a korszerű gépjárművekben milyen funkciót kell teljesíteniük, ill. hová építik be őket.

Először a hagyományos üzemű, tehát dízel- és benzines gépjárműveknél alkalmaztak alumíniumöntvényeket, mint pl. hengerfej, motorblokk, turbó feltöltő, hűtő, klíma, féknyereg stb. alkatrészek esetében. Ezt követte a futómű és a karosszéria, különböző felfüggesztések, motortartók stb. alumíniumból való gyártása. Ma pedig az elektromos autók fejlesztésénél alkalmaznak egyre nagyobb mennyiségben alumíniumot, ezzel csökkentve a jármű tömegét, mely az akkumulátorok miatt jelentősen nagyobb lehet a hagyományos gépkocsik tömegénél.



Aknás alumínium hőkezelő kemence vízhűtővel

Alumíniumöntvények hőkezelési lehetőségei



Alumíniumolvasztó tégelyes kemence

Az autópárhaz alumínium-alkatrészeket leggyakrabban öntéssel állítják elő, jellemző módon háromféle öntési eljárással, gravitációs öntéssel kokillába, vagy homokformába, ill. fémszerszámba történő nyomásos öntéssel.

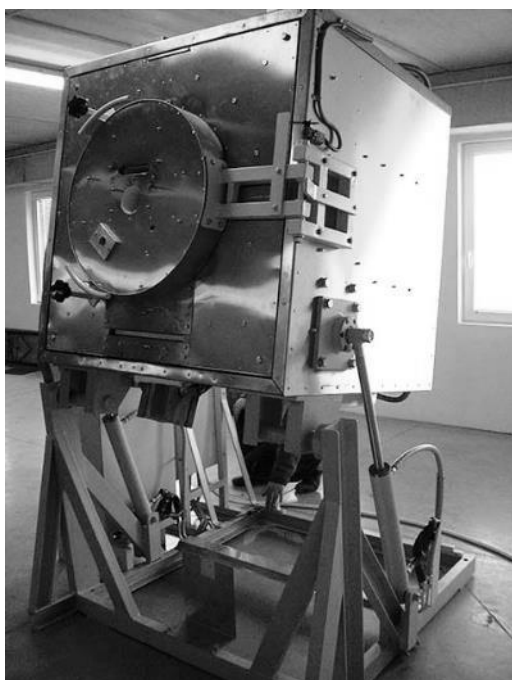
Az alkatrészeket a szükséges fizikai jellemzők elérése céljából legtöbbször hőkezelésnek kell alávetni. Hőkezeléssel a munkadarabok folyáshatárát, rugalmassági határát, szakítószilárdságát, fajlagos nyúlását stb. lehet az elvárt mértékben növelni.

A hőkezelés megtervezésénél figyelemmel kell lenni ezen elvárásokra, és nem különben az öntés technológiájára, mivel a különböző technológiával öntött darabok más-más hőkezelési eljárást igényelnek.

A szakmai kifejezések szerint, T5, T6, T7 jelű, ISO 9001 szabvány szerinti hőkezelésről, mint leggyakrabban alkalmazott eljárásról beszélhetünk. Mindhárom eljárásra példaként az alábbiakat ismertetjük.

A T5 hőkezelés (mesterséges öregbítés) egylépcsős hőkezelést jelent, így történik pl. a klímakompresszorok házának, a cilindereknek a hőkezelése, melynek célja a felületi keménység és egyben a kopásállóság növelése, valamint a használat során hőkezelés nélkül jelentkező alakváltozás megelőzése. Ezek a hőkezelések viszonylag kis hőmérsékleten (160–240 C-fokon) zajlanak le, és az alkatrész falvastagságától, ill. a hűtési hőmérsékletétől függően, változó ideig tartanak.

¹ Hőker Kft.



*Hidraulikusan billenthető
alumíniumolvasztó tégelyes kemence*

A T6 hőkezelés kétlépcsős. Egyrészt egy oldó szakaszból áll, viszonylag nagy hőmérsékleten (450–530 C-fokon) és több órán keresztül tart. Ennek célja az ötvözőket oldatba vinni, a teljes keresztmetszetben. A hõn tartás ideje elsõsorban az öntvény tömegétõl, falvastagságától függ. Meghatározó az öntvény gyártási eljárása is, más módon kell hőkezelni a gravitációs öntéssel készített alkatrészeket és másként a nyomásos öntéssel gyártott öntvényeket. Az öntési eljárás és a felhasználói követelmények egyéb mûszaki jellemzõi meghatározzák a hőkezelési hőmérsékletet és a hõn tartási idõt.

Az oldó hőkezelés után, nagyon gyorsan kell lehûteni az öntvényt, hogy az oldott ötvõzõk által létrehozott túltelített szövetszerkezet megmaradjon. Ez vízben, vagy intenzív levegõáramoltatással történik. Teljes lehûlés után, rövid idõn belül kell következnie a második lépcsõnek, mely egy T5-típusú mesterséges öregbítés, ennél a hõn tartás hőmérséklete és ideje határozza meg az öntvény szilárdsági jellemzõit. Mindig tudni kell, mi az alkatrész funkciója, milyen felhasználói jellemzõket kell elérni. Kiemelt célja lehet a hőkezelésnek a nagyobb keménység, vagy a nagyobb folyáshatár, más esetben a nagyobb fajlagos nyúlás, illetve ezek valamilyen kombinációja lehet az elvárás. A mesterséges öregbítés után a Brinell-keménység akár 100 fölötti érték is lehet, más esetben a fajlagos nyúlásra az elõírás 8–10

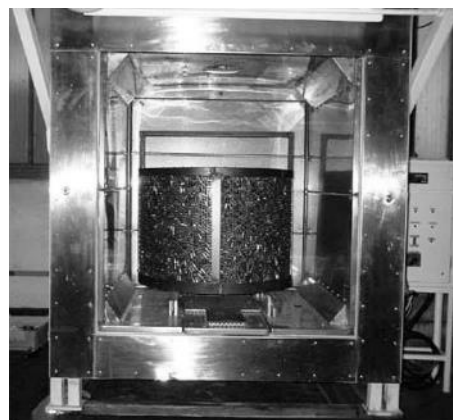
Nyomásos öntvények hőkezelése

A gépi nyomásos öntéssel gyártott öntvények esetében a legnagyobb problémát az okozhatja, hogy az oldó hőkezelés során a bezárt és nagy nyomással összepréselt levegõ-bezáródások kitágulnak, és felületi hólyagosodás keletkezik, ez viszont az öntvény funkciójából következõen nem megengedett. Ezért ezeknek az öntvényeknek az oldó hőkezelését viszonylag kis hőmérsékleten és rövidebb ideig szabad végezni. A hólyagosodás elkerülése, ill. csökkentése érdekében öntéskor az öntõszerszámban vákuumot létesítenek, s így történik az öntés. A vákuumozás mértéke és sikere meghatározza a késõbbi nem kívánatos hólyagosodás mértékét a hőkezelés esetén.

A vákuumozással és nagy nyomással öntött darabok oldó hőkezelése után lehetséges a T6-típusú hőkezelés vízhûtés alkalmazásával, de vékony falvastagságú, bonyolult geometriájú öntvények, pl. karosszéria-alkatrészek hőkezelésénél a levegõvel való gyors hûtést alkalmazzák, ezt hívjuk T 7 hőkezelésnek. A vízhûtés mindig intenzívebb hûtést biztosít, így ebben az esetben az elvart szilárdsági jellemzõk kedvezõbb értéket adnak a levegõvel történõ hûtéshez képest, viszont nagyobb deformációt is okozhat. A nagy deformáció miatt gyakran csak a levegõhûtés jöhet számításba.

A levegõhûtés kellõ intenzitásának megtervezése komoly gyakorlatot igényel, különösen több alkatrész egyidejû hőkezelése esetében. A levegõhûtés intenzitását lehet fokozni nagy nyomású párasító rendszer kiegészítésével, itt a lényeg, hogy olyan kisméretû vízcseppeket kell elõállítani, melyek nem érik el a forró öntvényt, mivel elõtte elpárolognak. miközben növelik a hõelvonást. A T6-típusú hőkezelés második szakasza a mesterséges öregbítés, melyet az elõzõekben már leírtunk. Ezzel az eljárással gyártják pl. a gépkocsik karosszériaelemeit, a karosszéria vázszerkezetét, stb.

Elõfordul, hogy a leírt eljárásokkal sem lehet a kívánt szövetszerkezeti jellemzõket elérni. Ekkor az ötvõzet módosításával, valamint a hőkezelés továbbfejlesztésével lehet eredményt elérni. Utóbbi többlépcsõs mesterséges öregbítéssel valósítható meg.



Lõszerhüvely hőkezelés



*Kocsi-fenekű alumínium
hőkezelő kemence*

A mesterséges öregbítést nem egy állandó hőmérsékleten végezzük. Elkezdjük egy kisebb hőmérsékleten, ekkor bekövetkezik a szilárdságnövelés első része. Ekkor a fémekben lévő ötvözők (Si, Mg) atomcsoportosulásai adják a nagyobb keménységet, mivel ezek az alumínium-mátrix kristályrácsokban torzulásokat okoznak. Majd a hőkezelési hőmérsékletet megemelve, kiválósos keményedés történik. A kiválósos keményedést okozó vegyületek öntött állapotban a kristályrács határfelületein válnak ki, durva méretűek és rontják a szilárdsági tulajdonságokat.

A mesterséges öregbítés magasabb hőmérséklet-tartományában a vegyületek egyenletesen finom eloszlásúak. Ennek eredménye a nagyobb fajlagos nyúlás és nagyobb szilárdság egyszerre. A T6 és T7 hőkezelések kapcsán fontos tudni, hogy az oldó szakasz és mesterséges öregbítés között nem telhet el hosszú idő, a gyakorlatban ez néhány óra.

Előfordulnak bonyolult alakú öntvények, melyek az oldó hőkezelést követő hűtés során minden igyekezet ellenére deformálódnak. Különösen hajlamosak erre a vékony falú, karcsú autóalkatrészek. Ilyenkor az oldó hőkezelési szakaszt követő lehűtés után etalonnal ellenőrizni kell az öntvényt, és egyenként a megfelelő fizikai beavatkozással helyre hozni a deformációt. Ekkor még lágy az öntvény, tehát általában sikeres a beavatkozás. A mesterséges öregbítés alkalmával már csak minimális deformációra számíthatunk, és akkor már

kemény is lesz a darab, tehát ellenáll a deformációt korrigáló beavatkozásnak. A deformációk csökkentését segíti elő, ha az alkatrészt készülékbe (kalodába) helyezve megfelelő alátámasztásokat alkalmazunk.

Összefoglalás

A járműipari alumíniumöntvények hőkezelése állandó, stabil térhőmérséklettel rendelkező kemencékben valósítható meg. A nagyon pontos hőmérséklet-vezetés, a nagy belső légkeringetés, a több zónás szabályozás minimális elvárás az ilyen típusú öntvények hőkezelésére épített kemencék esetén.

Dr. Dúl Jenő professzornak szakmai segítségéért ezúton mondunk köszönetet.

Lemezek fülesedésének becslése pólusábrák alapján

Estimation of ear formation of sheets based on pole figures

Dr. Benke Márton¹, Hlavács Adrienn¹, Piller Imre¹, Dr. Mertinger Valéria¹

Bevezetés

A hengerlési technológia kialakulása óta ismert jelenség a fülesedés, amely a lemezszerű félkésztermékek kristálytani anizotrópiája okozta alakváltozóképeség inhomogenitását jelzi. A jelenség jellemzése legegyszerűbben csészehúzó vizsgálattal lehetséges, ahol a „fül” a csésze maximális magasságú helyeit jelenti a hengerlési irány (HI) függvényében. A fülesedés jellemzésére alkalmas módszerek már az 1940-es évektől fejlődnek. Fukui és társai [1], majd Grewen [2] is publikálták, hogy a csészék fülesedése és a Lankford szám közötti kapcsolaton keresztül lehetőség van a fülmagasság becslésére. Tucker elméletet dolgozott ki, amely egyszerű csúszásra és a Schmid törvényre épült, és alkalmas volt egykristályos anyagok fülesedésének becslésére [3]. Az ő módszerét Kanetake és társai [4] kiterjesztették sokkristályos anyagokra. Modelljük azonban feltételezéseket alkalmaztak: húzó radiális-, nyomó tangenciális- és zérus normálfeszültséget mélyhúzás során. Ezeket túl, nem vették figyelembe az egyes kristályok egymásra gyakorolt hatását. Da Costa Viana és társai [5] által kidolgozott eljárás ODF-ből indul ki, és folyási görbék kombinációján alapul. Ez a módszer szintén bőségesen tartalmaz feltételezést, mégpedig azt, hogy a radiális alakváltozás fordítottan arányos a folyási feszültséggel. A Pochinetto és társai [6] által kidolgozott módszer feszültség-egyensúlyi számításokon alapul, és a becsült fülesedés nagyon jól korrelációt mutatott a mért értékekkel. A módszerüket Rodrugues és Bate fejlesztették tovább [7], azonban ez is csak abban az esetben volt alkalmazható, amikor négy fül alakul ki a csészén. Módszerüknek további hátránya, hogy feltételezésük szerint a tangenciális irányú feszültségkomponens nyomó, a normál és radiális komponens is nulla, ami valójában csak a csésze külső peremére igaz. Van Houtte később továbbfejlesztette az eljárást [8]. Az említett módszerek közül sok igényel mechanikai vizsgálatokat. A fülesedés becslésének másik ága a vége-selemes (VE) alapú eljárások. Ezekben az alkalmazott anyagtörvények kulcsfontosságúak, és tulajdonképpen ezek fejlesztésével megegyezik a VE alapú módszerek fejlődése [9-11].

Jelen cikkünkben egy olyan, relatív fülmagasságot becsülő módszert alkalmazunk az újrakristályosodási folyamat nyomon követésére, amely a relatív fülmagasság becsléséhez csupán a {200} Miller-indexű pólusábrákat igényli. A bemutatott módszerekhez képest előnye, hogy egyszerű, és nem tartalmaz alakváltozási vagy feszültségi feltételeket. Röviden összefoglalva, a módszer arra az empirikus megfigyelésre épül, mely szerint a hideghengerlés során tapasztalt fülesedési irányok, valamint a {200} pólusábrák intenzitásmaximumai közel egybeesnek, valamint az újrakristályosodáskor tapasztalt fülesedési irányok és a {200} pólusábrák intenzitásmaximumai pontosan egybeesnek [8, 14-20]. A becsült relatív fülmagasságnak a {200} pólusábra CHI-értékkel súlyozott összintenzitásának PHI-szerinti eloszlása felel meg. Az így kapott {200} súlyozott összintenzitás-PHI függvény jellegre hasonló a mért fülmagasság-PHI függvénynek.

Elvégzett vizsgálatok

A vizsgálatunkat 3003 típusú, 0,3 mm vastagságra hidegen hengerelt, majd különböző hőmérsékleteken (300°C, 340°C, 380°C) különböző időtartamokig lágyított alumínium lemezekon végeztük. A lágyítási időtartamok a lágyítási hőmérséklettől függenek. A lágyított lemezekből csészehúzópróbákat vágunk ki, melyeken csészehúzást gézett az ARCONIC-Köfém Kft.

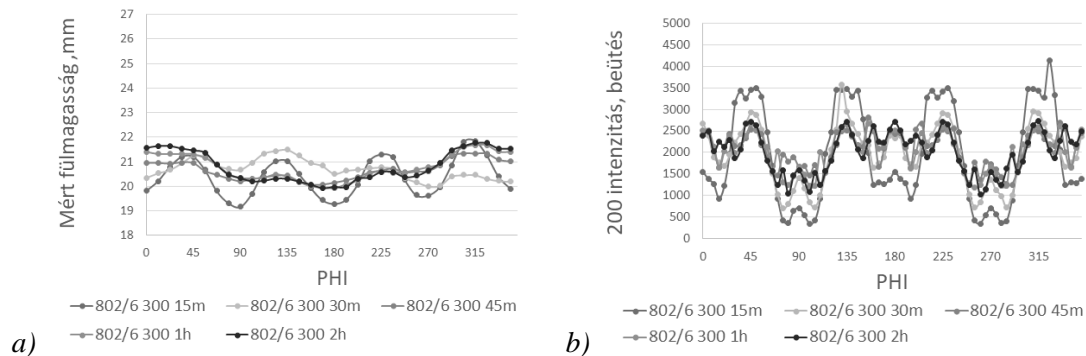
A fülmagasságokat tolmérő segítségével mértük. A lágyított lemezekon textúravizsgálatokat végeztünk Euler-bölcsovel felszerelt Bruker D8 Advance típusú röntgendiffraktométerrel (CoK α sugárforrás, 40 kV csőfeszültség, 40 mA fűtőáram). Az újrakristályosodási folyamat előrehaladását a mért, illetve becsült relatív fülmagasságok változásával követtük.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

Vizsgálati eredmények

Lágyítás 300°C-on

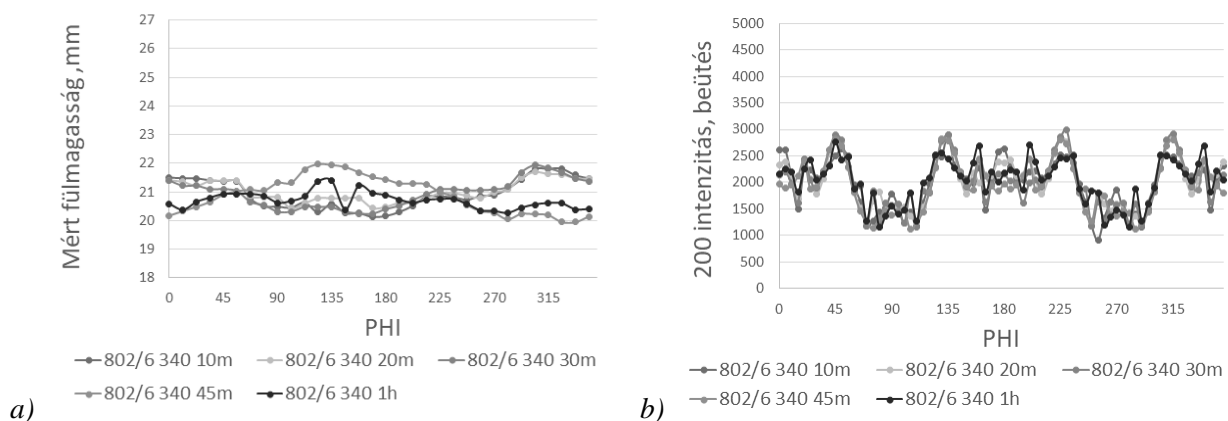
Az 1. ábra a 300°C-on végzett, különböző időtartamú lágyítás utáni eredmények láthatók. Az a) ábra a mért fülmagasságokat, a b) ábra a CHI-értékkel súlyozott {200} összintenzitást a HI-nyal bezárt szög (PHI) függvényében. Látható, hogy 15, illetve 30 perc lágyítás után a fülmagasságok, illetve a {200} intenzitások maximumai egyaránt a $45^\circ+(n*90^\circ)$ irányokban jelentkeznek, tehát a fülesedés hengerlési. A fülesedés mértéke azonban már 30 perc lágyítás után lecsökkent. 45 perc lágyítási időtől kezdve a fülesedés mértéke kisebb, a {200} intenzitáseloszlás szerint a lokális maximumok egyaránt jelentkeznek a $45^\circ+(n*90^\circ)$, valamint a $0^\circ+(n*90^\circ)$ irányokban, tehát a mintákon 8-as fülesedés tapasztalható, ami a hengerlési és lágyítási fülesedés ideális kombinációjának tekinthető.



1. ábra: Mért fülmagasságok (a), illetve a {200} pólusára CHI-értékkel súlyozott összintenzitása (b) a HI-nyal bezárt szög (PHI) függvényében a 300°C-on végzett lágyítás után

Lágyítás 340°C-on

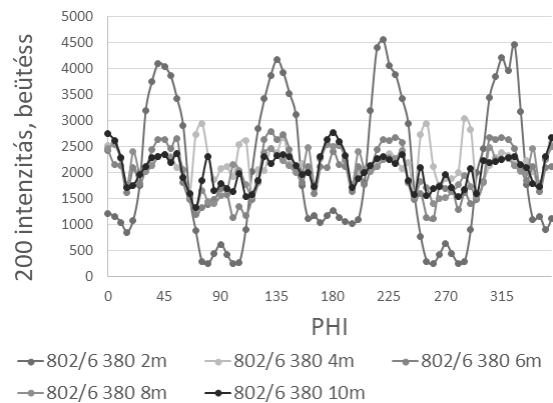
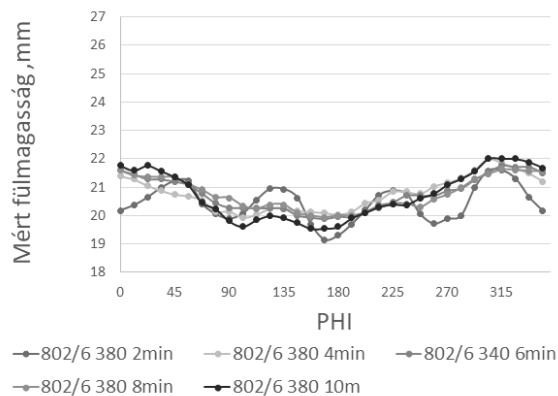
A 2. ábra a 340°C-on végzett, különböző időtartamú lágyítás utáni eredmények láthatók. Látható, hogy az alkalmazott lágyítási idők mellett viszonylag egyenletes fülmagasságok és {200} intenzitáseloszlás alakult ki. A csészék fülesedése elhanyagolható. A {200} intenzitáseloszlás szerint 8-as fülesedés alakult ki a csészékben.



2. ábra: Mért fülmagasságok (a), illetve a {200} pólusára CHI-értékkel súlyozott összintenzitása (b) a HI-nyal bezárt szög (PHI) függvényében a 340°C-on végzett lágyítás után

Lágyítás 380°C-on

A 3. ábra a 380°C-on végzett, különböző időtartamú lágyítás utáni eredményeket mutatja. 2 perc lágyítás után a fülesedés erős hengerlési, amit a $45^\circ+(n*90^\circ)$ helyeken lévő {200} intenzitásmaximumok is alátámasztanak. 4 perc lágyítás után a fülesedés mértéke lecsökken, ezzel összhangban a {200} intenzitásmaximumok a $0^\circ+(n*90^\circ)$ helyeken is megjelennek.



a)

b)

3. ábra: Mért fülmagasságok (a), illetve a {200} pólusábra CHI-értékkel súlyozott összintenzitása (b) a HI-nyal bezárt szög (PHI) függvényében a 380°C-on végzett lágyítás után

Következtetések

Az újrászámított {200} pólusábrák CHI-értékkel súlyozott összintenzitás-PHI függvénye jó korrelációt mutat a mért fülmagasságokkal. Míg a mért fülmagasság-PHI függvény a hengerlési fülesedés gyengülésével jelzi az újrakristályosodási folyamat előrehaladását, a {200} összintenzitás-PHI függvény rendkívül érzékenyen jelzi az újrakristályosodási folyamat lejátszódását: a hengerlésre jellemző, $45^\circ+(n*90^\circ)$ irányú intenzitáscsúcsok mellett megjelennek a $0^\circ+(n*90^\circ)$ irányú intenzitáscsúcsok is.

300°C-on végzett lágyító hőkezelés során az újrakristályosodás már 30 perc elteltével jelentősen csökkenti a hengerlési fülesedést, 45 perc után pedig megszünteti azt. 340°C-os lágyítás során a hengerlési fülesedés már 10 perc lágyítás után is eltűnik, kialakul a fülesedésmentes állapot. A lágyítási idő növelésének nincs hatása a fülesedésre. 380°C-on a hengerlési fülesedés eltűnik már 2 perc lágyítás után, és kialakul a hengerlési és újrakristályosodási fülesedés ideális (fülesedéstől mentes) kombinációja.

Köszönetnyilvánítás



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. A vizsgált lemezek termomechanikus kezelése az NKFI 119566K jelű projekt keretében valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] S. Fukui, H. Kudo, *Rep. Inst. Sci. Tech. Univ. Tokyo* 4, (1950) 33
- [2.] J. Grewen, in *Quantitative Analysis of Textures, Proc. Int. Seminar, Cracow*, (1971) 195
- [3.] G. E. G. Tucker, *Acta Metall.* 9., (1961) 275
- [4.] N. Kanetake, Y. Tozawa, T. Otani, *Int. J. Mech. Sci.* 25., (1983) 337-345
- [5.] C. S. Da Costa Viana, G. J. Davies, J. S. Kallend, *Textures of Materials, Proc. ICOTOM 5 Vol. 2, Springer, Berlin*, 1978, p. 447
- [6.] Pochinotto, M. Pernot, R. Penelle, *Deformation of Polycrystals, Riso National Laboratory, Denmark*, 1981, p. 205
- [7.] P. M. B. Rodrigues, P. S. Bate, *Texture in Non-Ferrous Metals and Alloys, AIME, Warrendale, PA*, 1985, p. 173
- [8.] P. Van Houtte, *Mat. Sci Eng.* 95., (1987) 115-124
- [9.] H. Aretz, J. Aegerter, O. Engler, *Proc. NUMIFORM 2010 AIP 1252/1.*, (2010) 417-424
- [10.] O. Engler, S. Kalz, *Mat. Sci. Eng. A* 373., (2004) 350-362
- [11.] O. Engler, J. Hirsch, *Mat. Sci. Eng. A* 452-453., (2007) 640-651

- [12.] U. F. Kocks, C. N. Tomé, H.-R. Wenk, *Texture and Anisotropy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998
- [13.] O. Engler, V. Randle, *Introduction to Texture Analysis, Second Edition*, CRC, Boca raton, 2010
- [14.] W. M. Baldwin, T. S. Howald, A. W. Ross, *Met. Tech. Tech. Pub.* 1808, (1945). 86
- [15.] W. T. Roberts, *Texture Control in Sheet Metal Ind.* 43, (1966). 237
- [16.] H. Hug, *Aluminium und Aluminiumlegierungen*, Springer, Berlin, 1965, 412
- [17.] J. C. Blade, P. L. Morris, *Texture and the Properties of Materials, Proc. ICOTOM 4*, Metals Society, Cambridge, (1975) 171
- [18.] T. Sheppard, M. A. Zaidi, *Met. Tech.*, 9, (1982) 368
- [19.] Po-We Kao, *Mater. Sci. Eng.*, 74 (1985) 147
- [20.] Q. Ma, W. Mao, H. Feng. Y. Yu, *Script. Mat.* 54., (2006) 1901-1905

Szerkezeti acélok lézersugaras felületkezelésének hatása a szövetszerkezetre

Effect of laser surface treatment on microstructure of structural steels

Dr. Fábíán Enikő Réka¹

Absztrakt

Kísérleteinknél C45 és 42CrMo4 minőségű anyagok felületét lézeredzettük CO₂ lézerrel és dióda lézerrel. CO₂ lézerrel való hőkezelés során a fényvisszaverődés csökkentése érdekében a kísérleti mintadarabokat grafit porral befújtuk, mivel ennek hiányában a köszörült felületről a lézersugár abszorpciója nem volt jelentős. 600 mm/perces lézersugár pásztázási sebesség mellett, ha az ötvözetlen acélminta felületét nem vontuk be grafittal az edzés utáni kéregvastagság alig haladta meg a 100 µm, míg a grafittal kezelté majdnem 800 µm-nek adódott. Dióda lézerrel való kezelés során adszorpciós tényezőt növelő adalékanyag használata nélkül közel azonos edzett kérget lehetett létrehozni, mint a grafitosan kezelt CO₂ lézerrel való edzéssel. A metallográfiai vizsgálatok azt mutatták, hogy az ötvözetlen acélnál a hűlési sebességnek megfelelően alakul ki martenzit, bénit, majd a szemcsehatárokon ferrit az edzett rétegben felülettől az anyag belseje felé, viszont a 42CrMo4 anyagban a hőkezelődött rétegben különböző mikrokeménységű keskeny sávok alakultak ki a felületre merőlegesen. A sávokban a karbidképző elemek dúsulása is kimutatható volt.

1. Bevezetés

A gépelemek, a fémszerkezetek, de még inkább a szerszámok működő felületeinek igénybevétele jelentősen eltér a belső anyagrészekétől, így a konstrukció egészét általában nem előnyös ugyanazon anyagból ill. azonos technológiával gyártani, hanem célszerű a fokozott igénybevételű felületi részekben ellenállóbb anyagot alkalmazni és/vagy intenzívebb energia bevittel anyagszerkezet-módosulást kiváltani, ezáltal jobb károsodásállóságra, nagyobb várható élettartamra törekedni. Felületkezeléssel tehát a felülettől a mag (belső anyagrészek) felé változó tulajdonságok hozhatók létre fázisátalakulások és/vagy különböző kémiai összetétel eltérő beállításával. Ha egy alkatrész felületén csak ott hozzuk létre az elvárt tulajdonságokat, ahol éppen szükséges, jelentősen csökkenthetjük a költségeket. A célorientált felületmódosítási eljárások olyan tulajdonságok kialakítására irányulnak, melyekkel a tömbanyagok eredetileg nem rendelkeznek. A felület módosításakor igen kis hozzáadott anyagszerkezet-módosítással merőben új tulajdonságok hozhatók létre, melyekkel az anyagok, alkatrészek, eszközök hasznos élettartama növelhető, bizonyos esetekben megsokszorozható. Ezért tekintik a felületmódosító eljárásokat anyagtakarékos és gazdaságos tevékenységnek.

A lézersugaras felületi kezelésekhöz tartoznak olyan eljárások amikor a felület összetételét megváltoztatjuk, mint a lézeres felületi ötvözés és olyanok is amikor nem változtatjuk meg az összetételt, de a termék felületének szerkezete átalakul (lézeres felületi átolvasztás, vagy a vasalapú ötvözeteknél a lézersugaras edzés). A lézeres felületi átolvasztás (laser remelting) során lézerrel megolvastják az anyag felületi rétegét, amely ezt követően gyorsan lehűlve újra megszilárdul. Eközben az összetétel nem változik, viszont a felületi réteg szerkezete igen, pl. fém esetén amorf (üvegfém) vagy mikrokristályos felületi fázis képződhet, ami javíthatja a felületkopás- vagy korrózióállóságát, vagy csökkentheti a kifáradási hajlamát [1,2]. A lézeres felületi ötvözés (laser surface alloying) során a célszerűen megválasztott összetételű porral vagy vékonyréteggel fedett szubsztrát kezelik. Ennek hatására megolvad a por (vagy vékonyréteg), valamint a szubsztrát felületi rétege is, ötvözetréteg képződését eredményezve. A felületi ötvözetréteg előnyös, a tömbi anyagtól eltérő fizikai, kémiai, illetve mechanikai tulajdonságokkal rendelkezhet [3,4]. A felületi edzés egy meghatározott típusú és teljesítményű lézersugaras hőbevitel - relatíve alacsony sugárintenzitású (<10⁴ W/cm²) kezelés mellett, alapvetően az alkatrész hővezetőképessége által szabályozható. A hőbevitelt az abszorpciós viszonyok megfelelő megváltoztatásával befolyásolhatjuk, a hőelvezetést a geometriai viszonyok is irányíthatják. A vasalapú ötvözetek lézeres felületedzése alapvetően ausztenitesítést, majd ezt követő rendkívül gyors hűtést (önedződést) jelent a kezelt rétegben. A lézeres kezelés gyors hevítésen alapuló, rövid idejű ausztenitesítést eredményez. Az ausztenitesedés

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék

körülményei (az ausztenit aktuális karbontartalma és az ötvözőeloszlás homogenitása) meghatározzák az edződés mértékét (az edzett réteg vastagságát és keménységét) a gyors hűlést követően. A kéreg keménysége alapvetően az edzéskor képződött martenzit mennyisége és a keménységének a függvénye. Acélok esetében a martenzit kellően nagy keménysége (800-900 HV) akkor garantált, ha az acél karbontartalma nagyobb mint 0,3-0,4%.

Lézersugaras felületkezeléskor a gyors hevítés növeli az átalakulási hőmérsékleteket, megközelítőleg 100–150°C-kal. Mivel az A_3 hőmérséklet felett eltöltött idő rövid, így a karbidoldódás, a homogenizálódás mértéke is korlátozott. Hagyományos edzési eljárásnál a kiinduló mikroszerkezetnek nincs döntő jelentősége, ezzel szemben lézeres edzésnél a kiinduló szerkezetnek – inhomogenitások, durva karbidok, perlit finomsága – nagy jelentőséggel bír, mivel homogenizálódásra, karbidoldódásra kevés idő marad [2].

A lézersugaras edzés alapvető előnyei a hagyományos eljárással szemben: a hozzáférhetetlen területek tökéletesebb kezelése, a helyileg edzett felületek létrehozása, kis mértékű torzulás, rövid kezelési idő.

A nagy energiasűrűségű lézersugár és az anyag kölcsönhatását, így az ennek következtében létrehozott/módosított tulajdonságokat alapvetően a lézerteljesítmény; hullámhossz; sugárnyaláb alakja; sugárnyaláb mérete (átmérő); a besugárzott területen belüli intenzitás eloszlás jellege; az abszorpciós tényező, a pásztázási (előtolási) sebesség határozzák meg.

2. Kísérleti anyagok. Alkalmazott eszközök, technikák

Kísérleteinkhez ötvözetlen szénacél mintákat (S355E, C45, C60), illetve 41CrMo4 anyagminőségű (C=0,41%, Cr=1,1% Mn=0,7%, Mo=0,2%) rúdanyagot használtunk. A kísérleteinkhez a rúdanyagokból 5 mm-ess szeleteket munkáltunk le. A felületkezeléseket a vágásokkal párhuzamos síkfelületeken végeztük, az esetleges szálirányra merőlegesen. A nemesíthető anyagminőségeken lézeres felületkezeléseket szállítási állapotú mintákon is és nemesített mintákon is elvégeztem a szövetszerkezetben lejátszódó szövetszerkezeti változások összehasonlítások érdekében. A nemesítéshez (ausztenitesítés 850°C+vízhűtés, majd 550°C-on 2 óráig tartó megeresztés+ vízűtés) ellenállás fűtésű laboratóriumi kemencét. Az oxidáció elkerülése érdekében a nemesítés során a minták hőkezelő fóliába voltak burkolva. Az egyenes felületi minőségért, a lézersugaras felületkezelés előtt P120-as metallográfiai csiszolópapíron készítettem elő a próbatesteket.

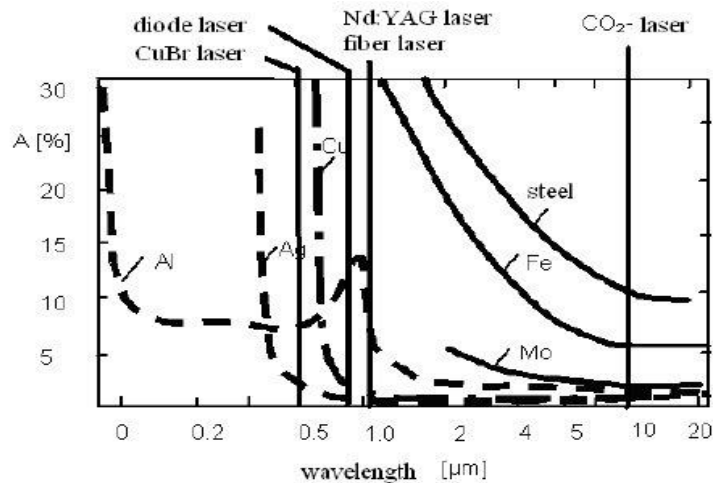
Az első kísérletsorozatot a Bay Zoltán Anyagtudomány és Technológiai Intézetben (1116, Budapest Kondorfa út 1) végeztük 5 kW-os Trumpf CO₂ lézerrel. Annak kiderítése érdekében, hogy változnak-e a tulajdonságok az adott anyagminőségeknél a lézersugaras berendezések típusának változtatásával kísérleteinket megismételtük 4 kW-os teljesítményű diódalézerrel. A diódalézerrel való felületi kezeléseket a Budai Benefit Kft. Lézer Technológiai Üzemben (2314 Halásztelek, Páger Antal u. 4 hrsz. 9). A hőkezelések után a mintákat a felületkezelésre merőlegesen elmeszve metallográfiai csiszolatokat készítve Olympus PMG3 fénymikroszkópon illetve Jeol gyártmányú pásztázó elektronmikroszkópon vizsgáltam a szövetszerkezetet 2% nitállal való maratás után. Keménységmérést Buehler 1105 típusú berendezéssel végeztem.

Valamennyi, szilárd állapotban végzett lézeres felületkezelés esetén alapvető problémaként jelentkeznek a fémek korlátozott abszorpciós képessége (más szóval reflexivitása). Minél nagyobb felület reflexiós képessége (azaz lézerrel közvetített energia visszaverődés mértéke) annál kisebb az energiahasznosítás mértéke. A reflexivitás mértéke egy 1-nél kisebb pozitív szám, értéke elméletileg zérus lehet akkor, ha egyáltalán nincs visszaverődés, azaz tökéletes az abszorpció (ekkor az abszorpciós tényező értéke 1). A reflexivitás függ az anyagminőségtől, a lézer típusától és a lézerfény hullámhosszától, a munkadarab felületi érdességétől, a lézer teljesítménysűrűségétől, a lézerfény beesési szögétől. Ismert, hogy a CO₂ lézersugaras kezeléskor a 10,6 μm hullámhosszúságú lézersugár reflexiója majdnem minden csiszolt, köszörült anyagnál meghaladja a 90%-ot [5-8], viszont, ha a felületet érdesebbé tesszük, módosítjuk akkor akár 20%-ra is csökkenthetjük azt [8].

Felület	Abszorpció, %	
	CO ₂ lézer, 10,6 μm	Nd:YAG lézer, 1,06 μm
Polírozott	4	30
Csiszolt	5 – 7	33 – 37
Esztergált	6 – 8	36 – 43
Homokszórt	21 – 23	46 – 51
Oxidált	60 – 80	60 – 80
Grafitozott	70 – 80	70 – 80

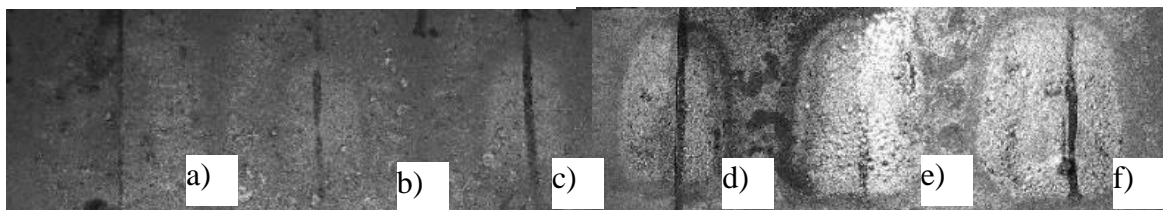
1. táblázat: Az abszorpciós tényező változása a felületi minőség és a gáz-, vagy szilárdtestlézer hullámhosszától függően. [5]

A CO₂ lézerrel ellentétben a nagyságrenddel kisebb hullámhosszon dolgozó szilárdtest lézer illetve diódalézer alkalmazásával az abszorpció jelentősen megnő, nem feltétlen szükséges az acélminták felületét előzetesen kezelni (1. ábra).



1. ábra: A lézersugár abszorpciója fémekben [9]

A hőkezelési sebesség beállítása érdekében előkísérleteket végeztünk. A felületedzéskor cél, hogy a felület ne olvadjon meg, ne hólyagosodjon. Ötvözetlen illetve gyengén-ötvözött szénacéloknál, $P=4-5\text{ kW}$ teljesítmény mellett, 550-600 mm/perces sebességnél lehetett biztonsággal hólyagosodás mentes felületet létrehozni (2. ábra).

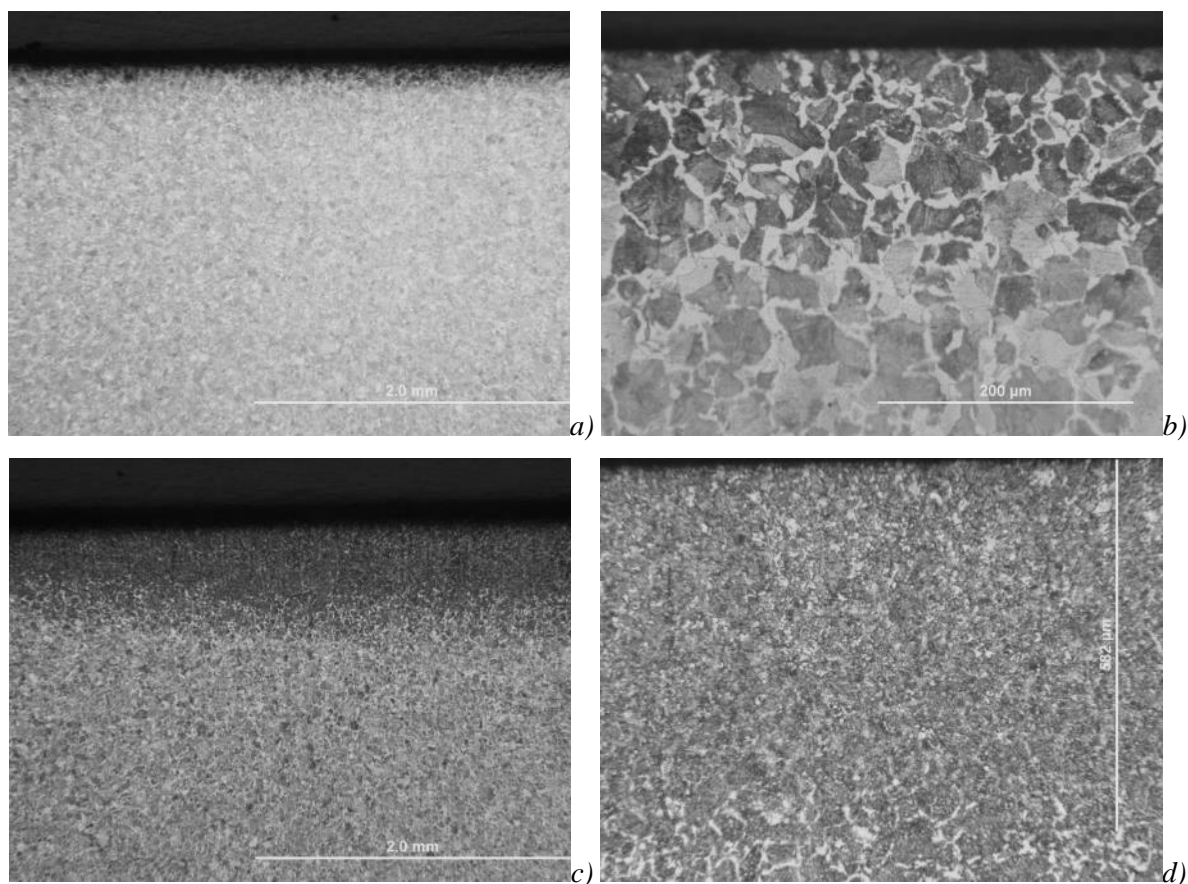


2. ábra: A lézernyaláb sebessége $P=5\text{ kW}$ teljesítmény mellett (CO₂ lézer grafitos felület)
a) 700mm/min b) 600mm/min c) 550 mm/min d) 350 mm/min e) 300 mm/min f) 200 mm/min

3. Kísérleti eredmények

Kísérleteinknél kipróbáltuk a CO₂ lézerrel való felületi edzést jól edzhető C60 acélnál felületi előkezelés nélkül illetve grafit szuszpenzió ráfújása után („Graphit 33”), 5kW- lézersugár teljesítménnyel 550 mm/perces haladási

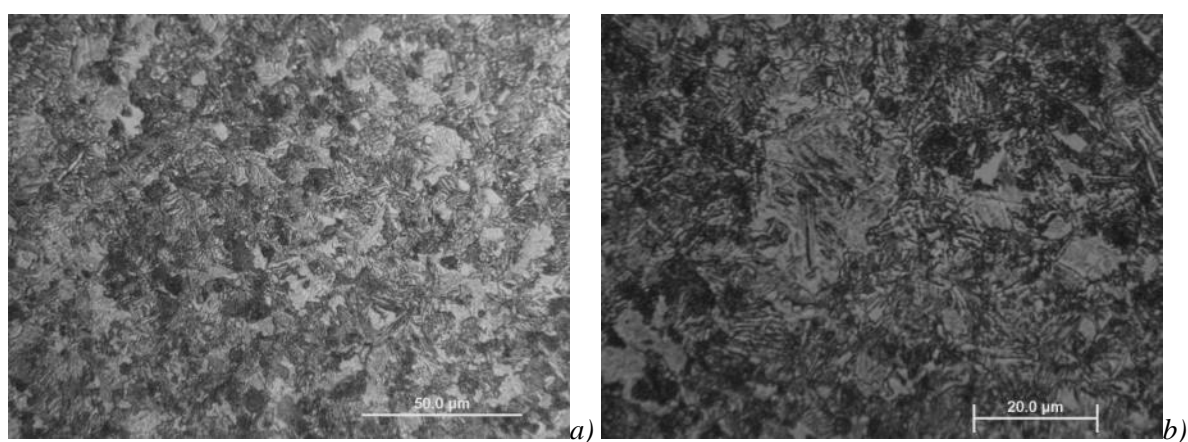
sebességgel. Vizsgálataink azt mutatták, hogy ha az acélminták felületét grafit befűtés nélkül lézerkezeltük az acél felületén a lézersugár áthaladása után edződés nem következett be, még a felület közvetlen közelében is csak finomlemezes perlit és ferrit alakult ki (3. ábra a) b)), viszont a grafitozott mintánál 0,6 mm mélységig teljesen beedződött a darab (3-4. ábrák), gyakorlatilag 500 μ m mélységig csak martenzit és kevés bénit jelent meg a szövetben.



3. ábra: Előzetes grafitos festés hatása a lézerkezelés során kialakuló szövetszerkezetre.

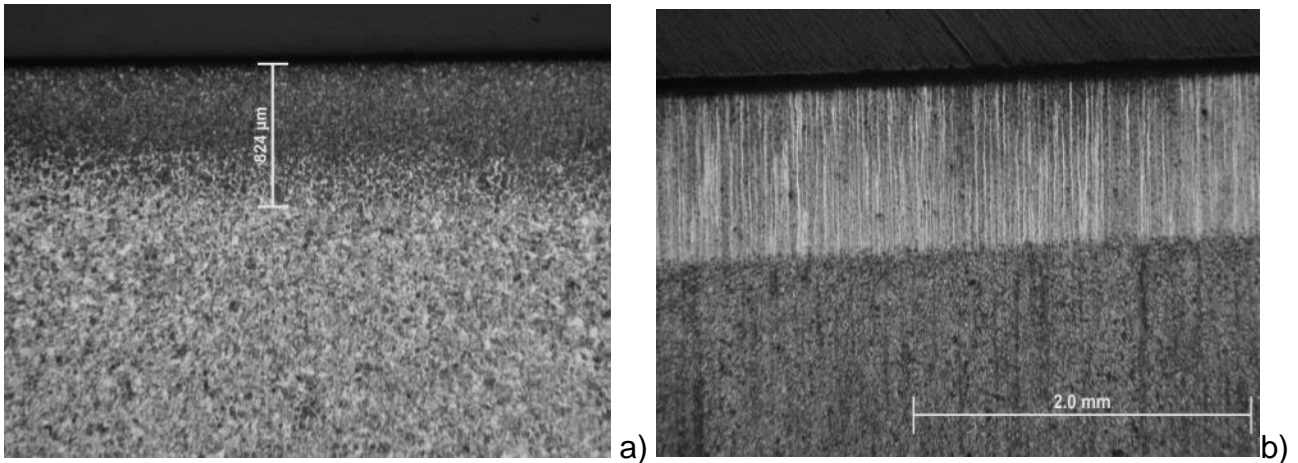
a) lézerkezelés grafitosítás nélkül. $N_{eredeti}=25x$ b) lézerkezelés grafitosítás nélkül. $N_{eredeti}=100x$

c) lézerkezelés grafitbefűtés után. $N_{eredeti}=25x$ d) lézerkezelés grafitbefűtés után. $N_{eredeti}=100x$

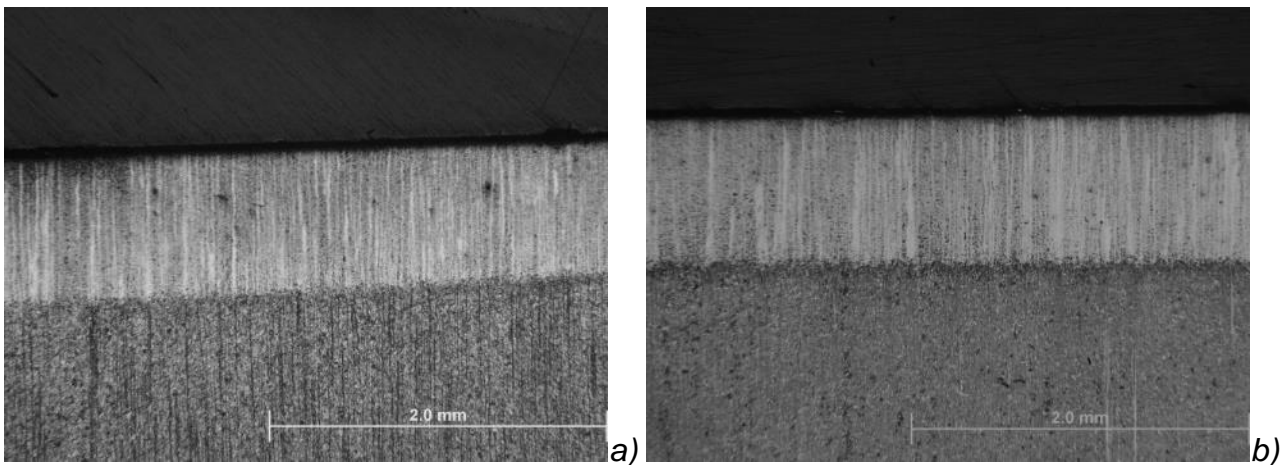


4. ábra: Martenzites szövet a felület közelében, jó lézersugár abszorpcióval rendelkező grafitral befűjt felület kezelése után. $P_{lézer}=5kW$, $v_{lézer}=550\text{ mm/min}$ a) $N_{eredeti}=500x$. b) $N_{eredeti}=1000x$

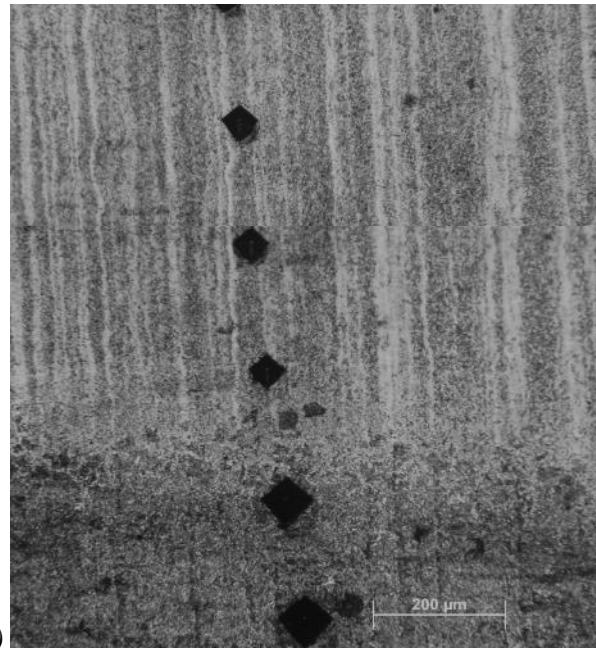
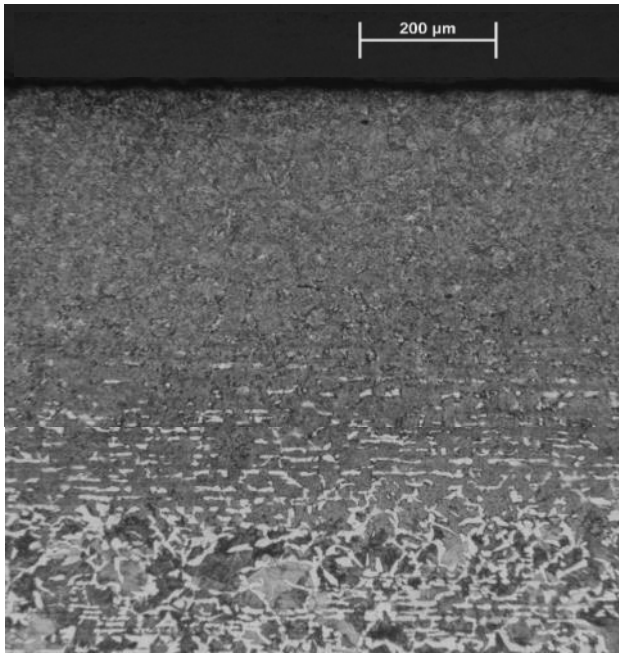
Közismert, hogy az anyagok átédzhető szelvényátmérőjét az acél széntartalma mellett az ötvözők is befolyásolják. Vizsgálataink azt mutatták, hogy az 1% körüli króm ötvözés a 42CrMo4 acélban megnöveli a lézersugaras edzéssel létrehozott kéreg vastagságát (5. ábra). Fénymikroszkópos vizsgálatok azt mutatták, a 41CrMo4 anyag lézeredzett tartományában, az eredeti rúd anyag szálirányában, csíkosan edződött az anyag. A jelenség megfigyelhető volt úgy CO₂ lézerrel, mint dióda lézerrel történő kezelés után, függetlenül attól, hogy volt-e nemesítve az anyag vagy előnemesített állapotban kezeltük (5.-6. ábra), miközben szénacéloknál a száliránynak nyoma sem mutatkozott (7. ábra).



5. ábra: Az ötvözőelemek hatása az edzett kéregre CO₂-lézerrel történő kezelés során. $P=5kW$ (grafitos előkezelés) $v_{lézer}=550\text{ mm/min}$. a) C60 anyagminőség b) 42CrMo4

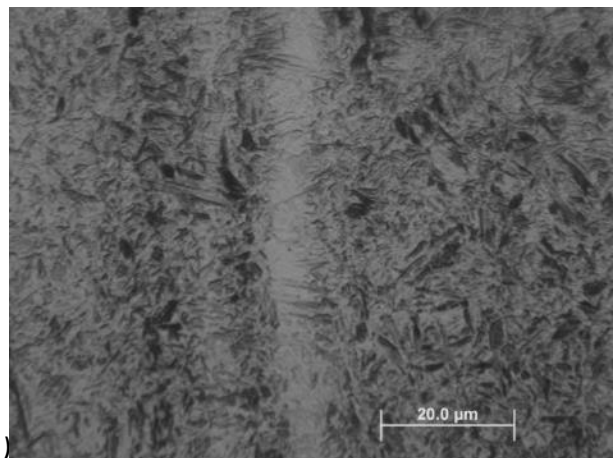
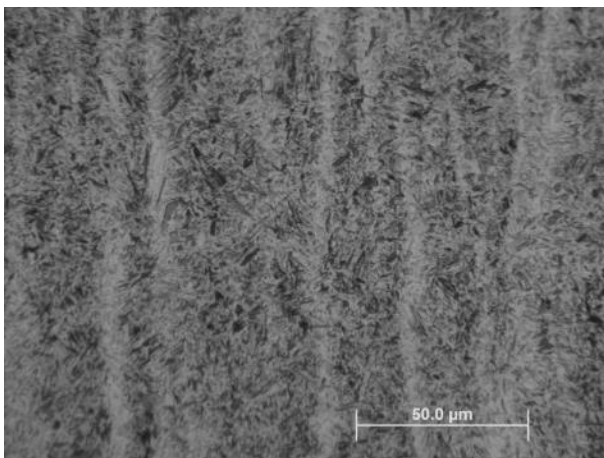


6. ábra: Nemesítés hatása a 42CrMo anyag lézeredzett kérgére. Dióda lézer $P=4kW$, $v_{lézer}=600\text{ mm/min}$. a) előnemesített alapanyag b) nemesített alapanyag



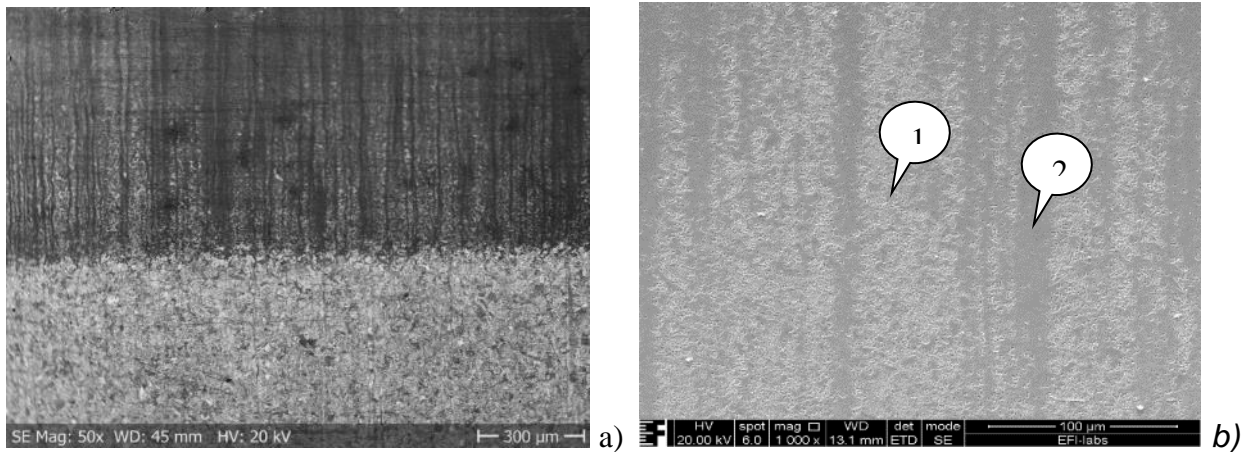
7. ábra: Az ötvözőelemek hatása az edzett kéregre dióda lézerrel történő kezelés során. $P=4kW$ (grafitos előkezelés) $v_{lézer}=600\text{ mm/min}$. a) C60 anyagminőség b) 42CrMo4 HV₁ lenyomatokkal

42CrMo4 anyagnál nagyobb felbontásban vizsgálva a kialakult kérget kisebb és nagyobb széntartalmú acélokra jellemző martenzites szövetszerkezet (7-8. ábra) vált láthatóvá, néhol kevés bénittel. Kis terheléssel belemérve a különböző zónákba úgy találtuk, hogy a sötét sávok keménysége nem éri el a 400 HV_{0,01}-t, a világos sávok keménysége meghaladta átlagosan a 880 HV_{0,01}-t. Nagyobb terheléssel vizsgálva kéreg keménységét (akár már 9,81N esetén) a lenyomatok jellemzően több zónába kerülnek. (7. ábra).



7. ábra: Fénymikroszkópos felvételek 42CrMo4 acél lézeredzett kérgéről
a) $N_{eredeti}=500x$ b) $N_{eredeti}=1000x$

Pásztázó elektronmikroszkópban vizsgálva a mintákat úgy találtuk, hogy a kialakult sávokban némileg eltér a króm, a molibdén és a mangántartalom (2 táblázat).



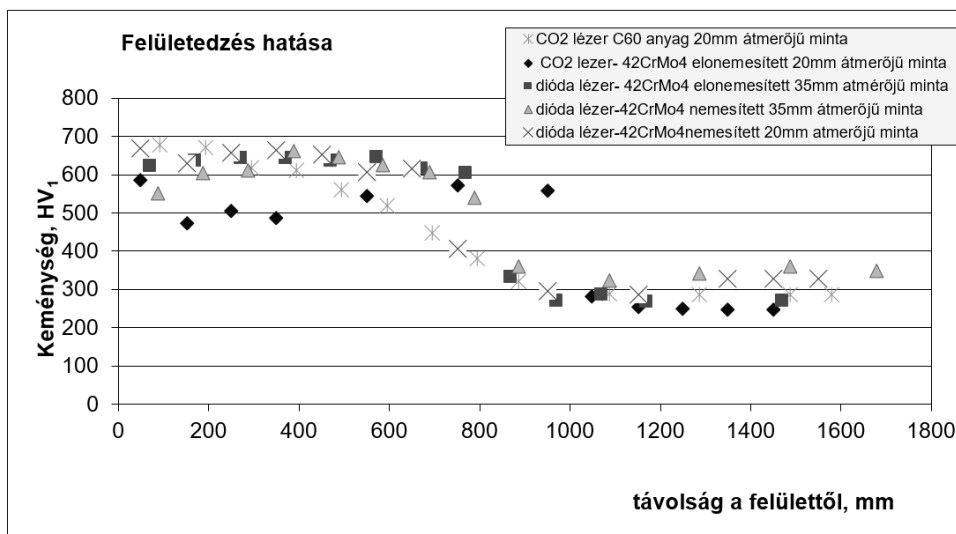
8. ábra. Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek lézerezett 42CrMo4 anyag szövetszerkezetéről SE üzemmódban a) kéreg az átmeneti zónával b) kéreg $N_{eredeti}=1000x$

összetétel, tömeg%	Si%	Cr%	Mn%	Mo%
SEM felvételen világos sáv, 1	0,16	1,18	0,89	0,33
SEM felvételen sötét sáv, 2. pont	0,40	0,96	0,70	0,15
Teljes területre jellemző	0,34	1,04	0,77	0,17

2. táblázat: A kémiai összetétel változása a SEM mikroszkópra szerelt EDX meghatározott

Megjegyzés A kis rendszámú C meghatározása ezzel a módszerrel nem ad megfelelő eredményt

A 41CrMo4 acéloknál kialakuló sávosság okának kiderítése további vizsgálatokat igényel, viszont megállapítható, hogy keménységmérés során relatív nagyobb terhelésnél a mérések a kialakult kéreg keménységének átlagáról szolgáltat információt; 1 kg-os terhelésnél a mért értékek a hőkezelt zónán belül nem szórtak. A 9. ábrán látható, hogy grafittal való előkezelés után a CO₂ lézersugaras felületkezelés hatására hasonló keménységű és hasonló vastagságú kéreg alakul ki mint felület előkezelése nélkül alkalmazott diódlézerrel való hőkezeléskor. A 42CrMo4 acélnál a kéreg keménységében nem mutatkozik különbség az előnemesített illetve a nemesített minták között. A nemesítés hatására a munkadarab magja egyenesen keményebb lett az előnemesített mintákhoz viszonyítva.



9. ábra A lézersugarason kéregedzett minták keménységlefutása

4. Következtetések

Köszörült felületek dióalézerrel való hőkezelésekor felületi abszorpciót segítő hozaganyag használata nélkül hasonló mélységben következik be szövetszerkezet változás, mint a grafitos spray használata után való CO₂ lézerrel való hőkezeléskor. A köszörült acélalkatrészek CO₂ lézerrel való felületi kezeléskor reflektivitást csökkentő adalékanyag használata nélkül jelentéktelen mértékben edződnek be.

CO₂ lézerrel való hőkezeléskor grafitos spray használata csak az abszorpcióban játszik szerepet a szövetszerkezetben hagyományos mikroszkópiával kimutatható szerkezetváltozás nem következik be, mikrokeményiség növekedés nem volt tapasztalható

Ötvözetlen acéloknál a lézersugarason felületkezelt minták keménysége a felület közelében a szénttartalom függvénye.

Köszönetnyilvánítás

A munka kivitelezése nem jöhetett volna létre a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet és A Budai Benefit Lézer Kft segítségével nélkül. Szeretnék köszönetet mondani munkánkhoz nyújtott anyagi támogatásért az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt keretében a Magyar Államnak és az Európai uniónak.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] **Bitay Enikő**: Lézeresen kezelt felületek kopásállóvizsgálata. VI. FMTÜ, Műszaki Tudományos Füzetek, EME, Kolozsvár/Cluj,. 111–118, 2001.
- [2] Bitay Enikő, Lézeres felületkezelés és modellezés, Erdélyi Múzeum -Egyesület, Kolozsvár, 2007
- [3] **Fábián E. Réka, -Boross Péter-, Verő Balázs,- Fülöp Piroska**: Metallographic Aspects of Surface-Treated Steels by using Laser Technology , Materials Science Forum, Vols. 414-415, pp. 201-206, 2003
- [4] **H. Tanabe, K. Ogawa, -Y. Izumi, -T. Takamatsu-, H. Nakagawa,- T. Saraie, -M. Gotoh, -H. Hagino , - T. Yamaguchi** Effects of laser heat treatment on mechanical properties of ceramic coated steelsPart 2 – Fracture strength of laser heat treated ceramic thin film, Materials Research Innovations, 18:sup1, S1-17-S1-21, 2014; DOI: [10.1179/1432891713Z.000000000348](https://doi.org/10.1179/1432891713Z.000000000348)
- [5] <https://www.laserfocusworld.com/articles/2011/04/laser-marking-how-to-choose-the-best-laser-for-your-marking-application.html>
- [6] <http://www.akelalaser.com/markets/industrial/>
- [7] http://moodle.autolab.uni-pannon.hu/Mecha_tananyag/lezertechnika/ch07.html
- [8] **Buza Gábor** Lézersugaras technológiák I., Edutus Főiskola, Budapest, Digit. Tankönyvtár, TÁMOP, 2012
- [9] **Lyubomir Lazov, N Angelov** Physical model about laser impact on metals and alloys, Contemporary Materials I, 2 124-128; 2010.
- [10] • **Bhaskar Chandra Kandpal-- A. Chutani-, - A. Gulia,- Harsimran , -C. Sadanna**: A review on jominy test and determination of effect of alloying elements on hardenability of steel using jominy end quench test, International Journal of Advances in Engineering & Technology, India, 2011

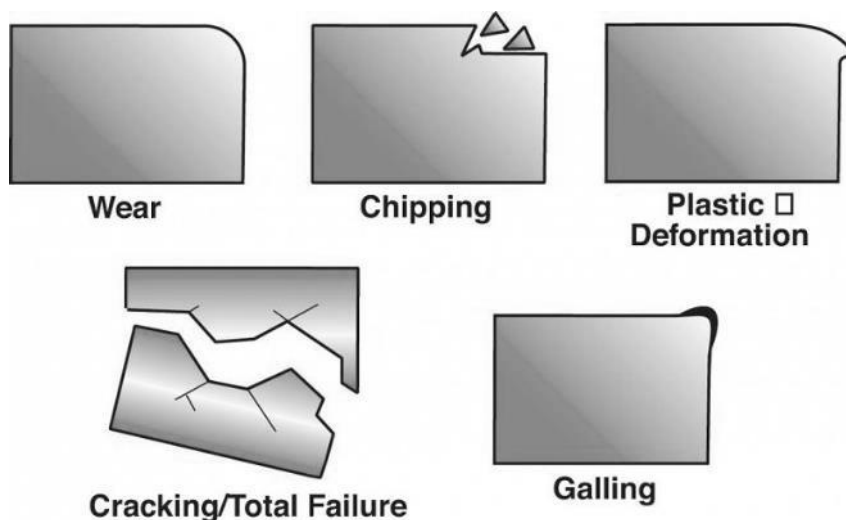
A lézer hőkezelés alkalmazási lehetőségei autóiipari szerszámok esetén

Applications of laser heat treatment for automotive tools

Rozsnyai Attila¹

Gyakorlati példák és megoldások az iparból

Az autóiiparban használt szerszámok esetében a növekvő nyersanyagárak konstans problémát jelentenek. Emellett a szakképzett munkaerő hiánya és bérek növekedése egy halmozott árszínvonal növekedést eredményezett fémfeldolgozó ipar szinte minden területén. Az autóiipari normák ráadásul újabb és újabb kihívások elé állítják a szerszámkészítőket, hiszen a pontosság és minőség mindenképp felett áll. Az autóiiparban használt lemezalakító szerszámok esetében pedig az sem elhanyagolható tényező, hogy a karbantartási munkálatok miatt mennyi ideig áll a termelés, ezzel pedig a profit csökkenhet jelentősen. Ezért az utóbbi időben egyre nagyobb hangsúlyt kap a kiváló minőségű szerszámalapanyagok és az utólagos élettartam növelő felületkezelési eljárások használata. A lézerhőkezelés itt kapcsolódik be ebbe a szegmensbe, hiszen több problémát is képes egyszerre orvosolni. A hőkezelő konferencia alkalmával vázolásra került milyen jellegű problémákkal kell a szerszámgyártóknak és a végfelhasználóknak szembesülni, illetve ezek hogyan kerülhetők el a lézeres felületkezeléssel. A Böhler-Uddeholm szerint (1. ábra) a jellemző kopásformák 6 csoportba oszthatók: 1. Abrázív kopás; 2. kitöredezés; 3. plasztikus deformáció; 4. Törés; 5. Adhézios kopás (felhegesedés).



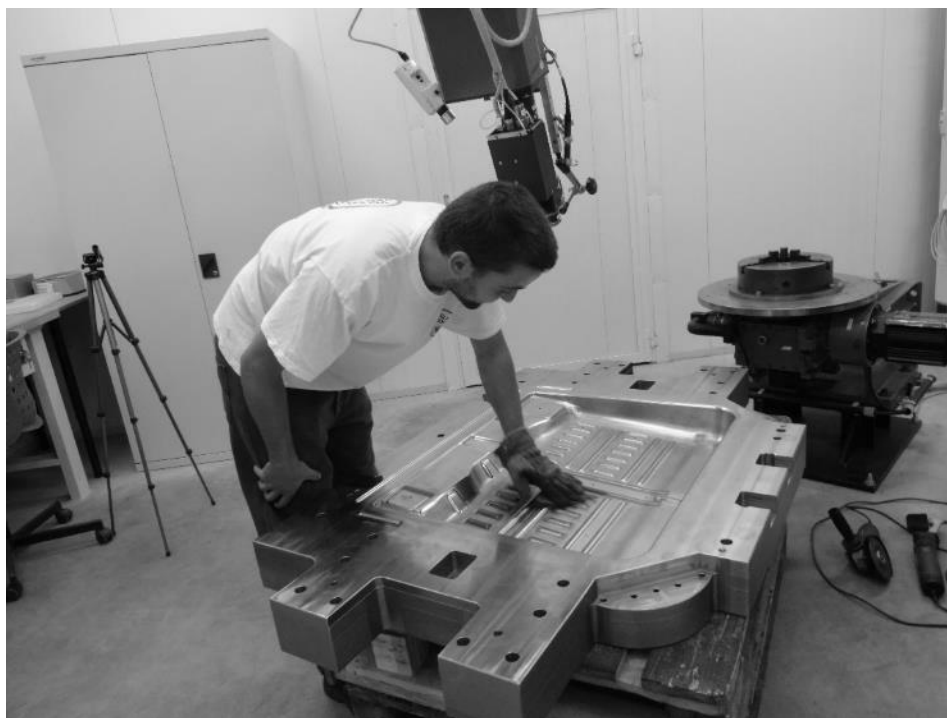
10. ábra: A különféle kopási formák forrása: Böhler- Uddeholm

Mindegyik esetben a kopás a felületről indul meg illetve valamilyen módon kapcsolatba hozható az felületi és magkeménységgel. A szerszám-törések sokszor például azért történnek, mert nagyon magas az alapanyag keménysége, hogy megnöveljék az élettartamot. Az adhézios kopás szintűgy csökkenthető a felületi keménység növelésével illetve a kémiai összetétel változtatásával. Milyen jellegű megoldások léteznek ezekre a gondokra? Jellemzően a teljes keresztmetszetben történő átédzést, betétedzést, indukciós edzést, nitridálást és különféle bevonatokat szoktak ajánlani a nagyobb gyártók. Mindegyik eljárás képes a maga módján növelni a felületi kopásállóságot, de mindegyiknek megvan a maga hátránya is. A teljes keresztmetszetben történő edzést nem lehet a végtelenségig növelni, hiszen ezzel a törékenységet növeljük a darabnak, ráadásul nagyméretű szerszámok esetében a hőkezelés költsége exponenciális megugrik. Az indukciós edzésnél fontos, hogy három dimenziós felületekre az induktor készítés nagyon költséges, ezért inkább sorozatokra ajánlott. Betétedzésnél a kilágyulás veszélye fönnáll akár csak a nitridálás esetében. A bevonatok viszont valós megoldást is jelenthetnek főként az adhézios és az abrázív kopás elkerülésében. A gond itt a javíthatóságban rejlik. Míg a hagyományos edzett szerszámok felülete a kopás és sérülés esetén valamilyen felhegesztéssel vagy betétedzéssel jól javítható,

¹ Budai Benefit Kft. – BuBenLaser

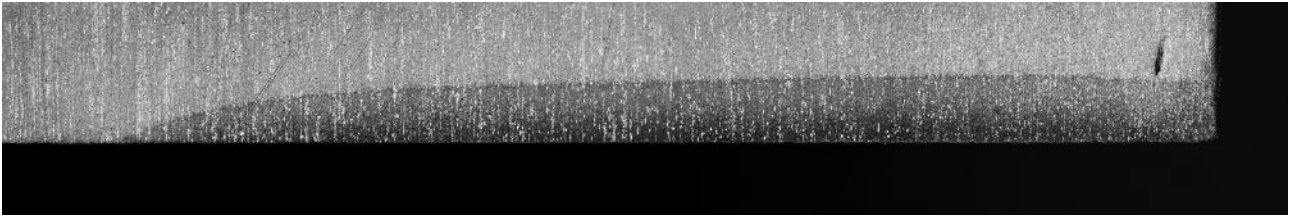
addig ha egy bevonat összefüggő felülete valahol „megszakad” akkor azon a rész drámaian megnő a kopás mértéke és a felhegesztés lehetősége ki van zárva. Ilyenkor csak a teljes eltávolítás és a komplett újra-bevonatolás javasolt ami nagyon megemeli a karbantartási költségeket. Milyen alternatívát kínál ehhez képest a lézer? A lézeres felületedzés (Laser Transformation Hardening – LTH) fel tudja hevíteni lokálisan az acélt 1000-1200 °C-ra amely a másodperc törtresze alatt szobahőmérsékletűre hűl hűtőközeg nélkül. Ezzel létrehozunk egy 0,6-1,5 mm vastag kérget ami nem befolyásolja a törékenységet. Ezzel képesek vagyunk az acélokból igen magas keménységeket kihozni, szerszámacélokna mint a 1.2379 pl.: 60-62 HRC. Ezt a keménységet az autóiparban használt szerszámoknál ritkán alkalmazzák, mert minimalizálni próbálják a törés lehetőségét így viszont a karbantartás gyakorisága nő. Kézenfekvő megoldásnak tűnik a lézeredzést de próbáljuk meg összehasonlítani milyen alternatívát nyújt ez a technológia. A következő előnyökkel lehet számolni:

- A lézerhőkezelést az esetek 80-90 %-ban készre munkált alkatrészekre lehet alkalmazni (nincs utólagos megmunkálás!), egyes esetekben tusírozás ajánlott.
- A mag keménysége nem változik, nem lágyul ki és nem ridegedik el a hőkezelés után.
- A hőkezelés beárazása nem tömeg hanem a hőkezelt felület alapján történik, tehát egy több tonnás szerszám élszalagját nagyon gazdaságosan lehet hőkezelti (2. ábra).



11. ábra: A nagyméretű szerszámok hőkezelése nem okoz problémát

- Szinte bármekkora méret többletköltség nélkül edzhető, ugyanis egy robotra szerelt lézerfej segítségével történik a felületedzés, ami jelenleg 2 m x 2 m és 10 tonnás korlátot szab meg (de ez a beton teherbírásától és a hőkezelő kamra ajtajának nagyságától függ egyedül).
- A hőkezelés után a használat közben történő esetleges balesetek (felületi benyomódások, törések, stb.), gond nélkül hegeszthetőek és javíthatóak.
- Az autóiparban használatos szerszámalapanyagok egytől egyig jó edzhetőek (GGG70L – 64 HRC, 1.2379 – 62 HRC, 1.2333 – 62 HRC,
- A finom szemcseszerkezet kivágószerszámok esetében hosszabb éltartamot biztosít. Minden esetben pedig az élettartam jellemzően legalább 10-15 %-al nő az indukció edzéshez képest, abrazív koptatás esetén [4].



12. ábra: Vágóél minta 1.2379 anyag, maratva Nital 2%

Természetesen ez sem alkalmazható minden esetben ezért ezt is érdemes körüljárni:

- Nem helyettesíti a teljes keresztmetszetben történő edzést, tehát ha ütő igénybevétel van akkor a puha alapanyag behorpadhat, annak ellenére, hogy a felületen kemény. Tehát ezzel számolni kell, hogy csak már előzetesen edzett szerszámot lehet ilyenkor felületen edzeni.
- Vékonyabb a réteg mint egy indukciós kéregedzés, viszont jellemzően 1-2 HRC-vel magasabb keménységi értékeket mutat
- Teljes formaadó felület és bonyolult alámetszett geometriák (pl.: egyes fröccsöntő szerszámok esetében) hőkezelése nem mindig lehetséges és gazdaságos, lehetőleg minimalizálni kell a hőkezelendő felületet
- Bár a deformáció legtöbb esetben elhanyagolható, számolni kell vele, ezzel kapcsolatban érdemes konzultálni a technológusokkal. Ez ugyanis nagyban függ a hőkezelés technológiájától, illetve az alapanyag folyáshatárától magas hőmérsékleten [2]
- Mivel nem használunk hűtőközeget, tehát az alapanyag hőkapacitásától függ a hűtési sebesség, nagyon vékony anyagoknál nem alkalmazható vagy nem érhető el magas keménység [1, 3]



13. ábra: Autóipari húzószerszám lézeredzés után

Az autógyártásban használt szerszámok a fent említett feltételek szempontjából igen jól edzhetőek lézerral. Amennyiben szakmai konzultációra lenne igény egy jelenleg meglévő vagy a jövőben megvásárolandó szerszámmal kapcsolatban szívesen nyújtunk tájékoztatást.

IRODALOM

- [1.] **Sangwoo So - Hyungson Ki:** *Effect of specimen thickness on heat treatability in laser transformation hardening. International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 61, 2013.*
- [2.] **Ju Chen - Ben Young:** *Mechanical Properties of Cold formed Steel At Elevated Temperatures. International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, 2006.*
- [3.] **Hyungson Ki - Sangwoo So:** *Process map for laser heat treatment of carbon steels. Optics and Laser Technology Vol. 44, 2012.*
- [4.] **Ing. Pavla Fiserov' a:** *Wear of laser surface hardened steels. West Bohemian University, Faculty of Mechanical Engineering, 2013.*

Komplex hőátadási együttható rekonstrukciója az FWA algoritmus alkalmazásával

Reconstruction of complex heat transfer coefficient using the FWA algorithm

Fried Zoltán¹, Dr. Felde Imre¹, Szénási Sándor¹

Absztrakt

A gyors hevítési és hűtési technológiákra jellemző tranziens hőátadási folyamatok során az alkatrészek felületén időben és térben változó hőátadási együttható alakul ki, mely döntően befolyásolja mind a belső feszültség viszonyait, mind pedig szövetszerkezeti tulajdonságokat. A komplex hőátadási együttható számszerű vizsgálatát inverz hőátadási módszerek segítségével célszerű végezni, melyek azonban meglehetősen nagy számítási kapacitást feltételeznek. Az összetett termikus peremfeltétel becslésére egy bio-inspirált optimalizálási módszerre épülő algoritmus kidolgozására került sor, melynek segítségével az inverz hőtani számításokhoz szükséges számítási idő jelentősen csökkenthető. A módszer a Fireworks Algorithm (FWA) alkalmazásán alapul. A módszer alkalmazhatóságát az 1D hővezetési modell használata esetén egy tengelyszimmetrikus munkadarab három elméleti hőátadási együttható függvényének helyreállításával igazoljuk úgy, hogy a hőátadási együttható függvény alakjáról semmilyen előfeltételezéssel nem élünk.

Kulcsszavak: IHCP, FWA, Hőátadási tényező

I. Bevezetés

Az inverz hőátadási problémák (IHCP) az ún. "reverse engineering" problémák családjába tartoznak. Az inverz hőátadási problémával akkor állunk szemben, ha egy hőátadási folyamat jellemzéséhez nem áll rendelkezésre valamely peremfeltétel vagy anyagjellemző. Az inverz problémák a legtöbb esetben valószínűleg alul-determináltak és érzékenyek a mérési hibákra. Általánosságban elmondható, hogy az inverz problémák megoldásának stabilitása és egyedisége nem garantált. Az elmúlt 30 évben számos számítási eljárás kidolgozására került sor az inverz hőátadási problémák megoldásához. A kutatási irányzatnak új lökést adtak az ún. bio-inspirált, vagy természet-inspirált optimalizálási módszerek kutatási eredményei.

A genetikus algoritmusokat [4,5] sikeresen alkalmazhatóak különböző típusú inverz hőátadási problémák megoldásához. A különböző numerikus optimalizációs technikák kvantitatív értékelése megmutatta, hogy a sztochasztikus módszerekkel kapott találatok pontosabb eredményekkel szolgálhatnak az IHCP megoldásához, mint a komplex termikus peremfeltételek felhasználásával alkalmazott gradiens módszerek. A Fireworks Algoritmus az elmúlt években vált népszerűvé, ugyanis képes fenntartani egyfajta egyensúlyt a konvergenciára való képesség és az algoritmus ciklusai között tapasztalható változatosság között.

A FWA algoritmust az IHCP problémák megoldásának tekintetében egy újfajta algoritmusnak számít. Ebben a dolgozatban megmutatjuk, hogy az FWA algoritmus is használható az IHCP megoldásához.

Az alábbiakban a $HTC(t)$ függvény csak az idő függvényében vizsgáljuk. A módszer a tranziens hőátadási folyamat során a vizsgált munkadarab felületén mért hőmérsékletmérésekből indul ki. Az optimalizálási feladat célfüggvénye a mért és számított hőmérséklet különbségeként értelmezett. Az FWA algoritmust CPU-ra implementált futásokat párhuzamosítottuk. A kidolgozott inverz predikciós eljárással jelentősen kisebb idő alatt közelíthető a komplex hőátadási együttható függvény.

¹ Óbudai Egyetem, SmartLab Tudásközpont, Budapest

II. A hőátadási modell

A kísérleteinkben vizsgált hengeres munkadarabban kialakuló hőmérséklet számításához egydimenziós, tengely-szimmetrikus hővezetési modellt alkalmaztunk. A hővezetési tényezőt $k(T)$ és a fajhőt $C_p(T)$, és a hőkapacitást $\rho(T)$ függvények reprezentálják. A hővezetés differenciál egyenlete:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(k \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{k}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + q_v = \rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

A kezdeti és peremfeltételek az alábbiak:

$$T(r, t = 0) = T_0 \quad (2)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial r} = \text{HTC}(t) [T_q - T(t)] \quad (3)$$

ahol az r a helyi koordináta, a t az idő, ρ a sűrűség, q_v a belső hőforrás tag, a T_0 a kezdeti hőmérséklet, a T_q a hűtőközeg hőmérséklete. Ebben a dolgozatban a súlyozott Schmidt explicit véges differencia módszert használjuk az egyenletek megoldásához (1-3).

III. Az inverz hőátadási modell

Ha feltételezzük, hogy a munkadarab felületén a hőátadási folyamat közben rögzítjük a hőmérsékletet, akkor az inverz hővezetési probléma megoldásával határozhatjuk meg a termikus peremfeltételeket az idő függvényében. [1,2,3]. A munkadarab térfogatában a hőmérsékleteket jelöljük T_k^m -val, és T_k^c -vel a mért jelek pozíciójában számított hőmérsékleteket. Az inverz probléma megoldását abban az esetben tudjuk előállítani, ha a (4) célfüggvény értékét minimalizáljuk:

$$S = \sum_{k=1}^p (T_k^m - T_k^c)^2 = \min \quad (4)$$

ahol p a lehülési görbe pontjainak számát jelöli. Ezzel az inverz probléma egy minimumkeresési feladatra vezethető vissza.

IV. A Fireworks algoritmus

Az egyszerű FWA algoritmus modellje firework-ökből és spark-okból áll. A firework jelenti a központi elemet, ami körül a spark-ok mozognak az N dimenziós térben. Az i . sparknak a pozícióját az $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN})$ képlet reprezentálja. Minden egyes spark egy potenciális megoldása az IHCP problémának, mely egyben a keresési tér globális minimuma is. Minden egyes populáció egy firework-öt és több spark-ot jelent. Az egyes spark-okat és firework-öket a fitness értékkel jellemezzük és hasonlítjuk össze egymással. A legjobb fitness értékkel rendelkező spark öröklődik a következő generációba, mint egy memóriatár hordozza a spark legjobb pozícióját és legjobb fitness értéket a térben. Az populáció spark-jait két csoportba soroljuk. Az első csoportot a normál spark-ok alkotják, a másodikat a gaussian spark-ok. Az utóbbi csak a következő pozíció számításban tér el az előzőtől.

Minden normál spark következő pozícióját a következő egyenletek határozzák meg:

$$d_i = A_i \cdot r \quad (5)$$

ahol az r egy egyenletes eloszlású véletlen szám -1 és 1 között, az A_i az amplitúdó, és d_i az elmozdulás irányát és nagyságát jelző vektor, vagyis a következő pozíciót az

$$X_i = X_i + d_i \quad (6)$$

képlet adja. Az amplitúdó értéke függ az aktuális spark fitness értékétől és a legkisebb fitness értéktől is.

$$A_i = \hat{A} \cdot \frac{f(X_i) - y_{min} + \varepsilon}{\sum_{i=1}^N (f(X_i) - y_{min}) + \varepsilon} \quad (7)$$

Az amplitúdónak meghatározunk egy minimális értéket is, annak érdekében, hogy a spark következő pozíciója igazodjon ahhoz a tapasztalathoz, hogy a globális minimum nagyon nagy valószínűséggel az aktuális pozíciótól távol található, az idővel viszont a minimális fitnessű spark helye egyre közelebb lesz a aktuális spark helyétől. Ennek érdekében bevezetjük a következő számítási módot az A_{min} meghatározásához:

$$A_{min} = A_{init} - \frac{A_{init} - A_{final}}{N_{max}} \cdot \sqrt{(2 \cdot N_{max} - n)n} \quad (8)$$

A gaussian spark-ok esetében az elmozdulás iránya és nagysága a 9 képlet szerint alakul.

$$d_i = g \cdot (X_k - X_i) \quad (9)$$

ahol a g egy normál eloszlású véletlen szám 0 és 1 között. Az X_k egy véletlenszerűen választott firework pozícióját jelenti. Miután iteráció után minden populáción az F_{best} fitnessz és X_{best} pozíció meghatározásra kerül.

V. A Firework algoritmus lépései

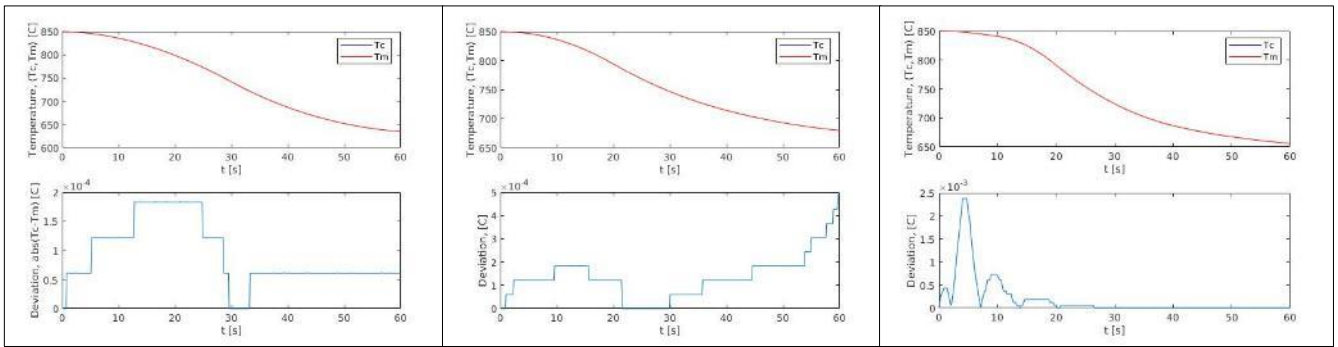
Az inverz analízis célja, hogy iteratív becslést adjon az ismeretlen $HTC(t)$ függvényre a FWA eljárás alkalmazásával. A célfüggvény értékét az n -dik iterációban a számított és mért hőmérséklet-görbék különbségből a (4) egyenlet felhasználásával határozhatjuk meg. Az algoritmus garantálja, hogy a számított és a munkadarab adott helyén mért hőmérséklete között könnyen elhanyagolható hőmérséklet-különbség adódik majd. Az FWA algoritmus számítási lépései a következők:

1. Kezdeti firework-öt és spark-okat generálunk véletlenszerű pozícióban
2. Minden egyes részecskének számítsuk ki a fitnessz függvény értékét
3. Frissítsük a legjobb F_{best} értékét minden egyes populációban, ha a spark fitnessz értéke kisebb, mint az előző pozícióban számított legjobb fitnessz értéke (X_{best})
4. Frissítsük firework pozícióját a legjobb spark pozíciójára
5. Frissítsük minden egyes részecskét az (5) - (9) egyenlet szerint
6. Ismételjük ciklusban a fenti lépéseket, amíg a kilépési kritériumot, vagy egy előre definiált generációs számot el nem érünk.

Erősen ajánlott párhuzamosított számítási eljárást használni a 2. lépésben, ami annak a ténynek köszönhető, hogy nincs „áthallás” az egyes iterációk között, mert az egyes részecskék között nincs kommunikáció egy iteráció során. Az FWA algoritmus diagramját a 3. ábra mutatja.

VI. Firworks algoritmus a gyakorlatban

Ebben a fejezetben azt szeretnénk igazolni, hogy a Fireworks algoritmus alkalmas a globális minimumú fitnessszel rendelkező spark megkeresésére az N dimenziós térben. Ennek érdekében az igazoláshoz választottunk három különböző HTC függvényt, továbbá tételezzük fel, hogy a hengeres munkadarab átmérője 6.25mm, a munkadarabot 880 °C fokra hevítés után egy 20°C-os hőmérsékletű keverés nélküli hűtőközegbe helyeztük. A hűtési idő 60s. Minden egyes választott HTC függvény esetében kiszámoljuk a lehülési görbéket. A választott három HTC függvényt tekintjük etalonnak, Ezeket a görbéket kell a Firework algoritmusnak meghatároznia. A számított lehülési görbéket meg tekintjük egy mérés eredményének, ami bemenetként szolgál az algoritmus számára. A választott HTC görbék legyenek 3, 5 és 10 pontja megválasztva, rendre (500, 5000, 800) W/(m²K), (200, 500, 4000, 2000, 800) W/(m²K), és (100, 300, 800, 1000, 6000, 5000, 4000, 2000, 1200, 800) W/(m²K).

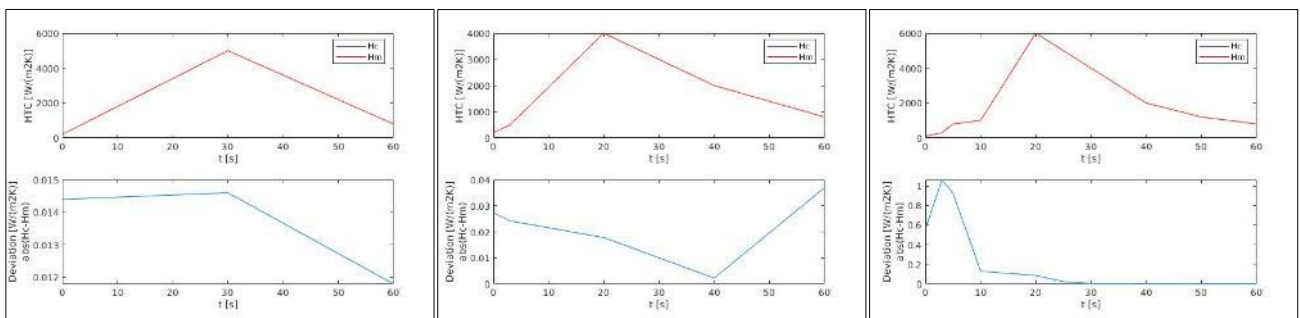


1a

2a

3a

1. ábra. A mért és számított lehülési görbék (felül) rendre 3 (1a), 5 (2a) és 10 (3a) pontból álló HTC függvények esetén, valamint a mért és számított lehülési görbék különbségének abszolút értéke (alul) az idő függvényében



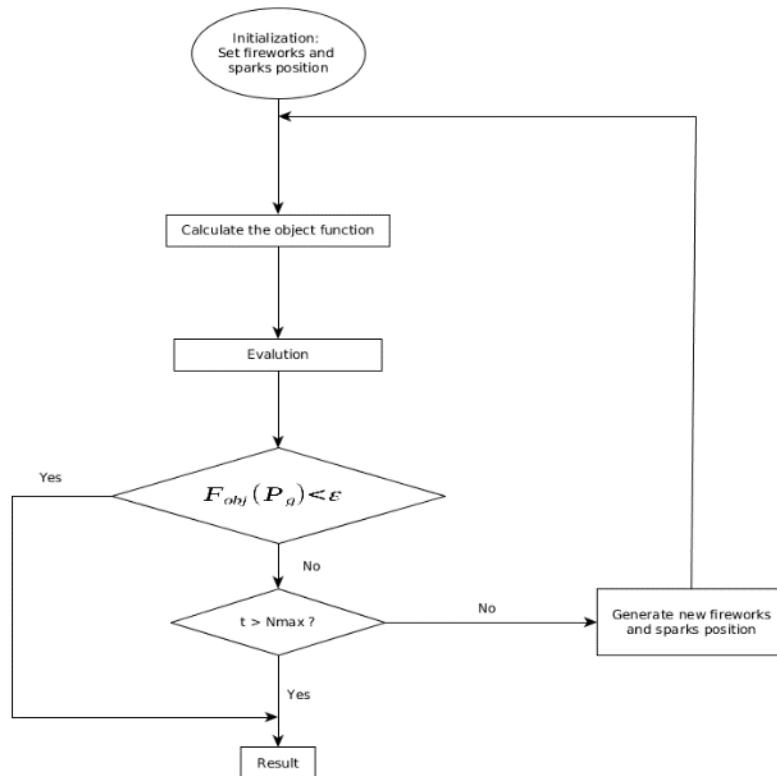
1b

2b

3b

2. ábra Az etalon és számított HTC görbék (felül) rendre 3 (1b), 5 (2b) és 10 (3b) pontból állnak, valamint az etalon és számított HTC görbék különbségének abszolút értéke (alul) az idő függvényében

3. ábra Az FWA algoritmus folyamatábrája



	Átlagos eltérés [°C]	Standard eltérés, [°C]	Maximális eltérés, [°C]
1	3.8e-05	0.0001	0.0002
2	4.0e-05	0.0001	0.0004
3	6.3e-05	0.0004	0.0024

1. Táblázat A mért és a FWA algoritmus által számolt lehülési görbék néhány statisztikai jellemzője

Az 1. ábrán jól látható, hogy a mért és az FWA algoritmus által megtalált lehülési görbe csak 10^{-3} és 10^{-4} értékben tér el egymástól. Az etalon és a számított HTC függvények különbségét a 2. ábra mutatja. Az különbségeket tartalmazó grafikonokból látható, hogy az etalon és számított HTC függvények rendre csak a 4, 3 és 1 tizedes jegyben térnek el egymástól. A dimenziószám növelésével az FWA által megtalált minimum egyre jobban eltér a várt eredménytől. A jelenlegi eredmények egészen meggyőzőek abban a tekintetben, hogy az FWA algoritmus alkalmas a HTC függvények előállítására 1D lehülés esetén, viszont az eredmények pontosságának a javításához további vizsgálatok és módosítások kellene az algoritmusban, főleg nagyobb dimenziószámok esetén.

Az 1. táblázatban összefoglaltunk néhány statisztikai jellemzőt a mért és számított lehülési görbékről. A táblázatban szereplő értékek is alátámasztják FWA alkalmasságát a feladatra.

VII. Következtetések

A tranziens hőátadási folyamatok közben kialakuló komplex hőátadási együttható becslésére az FWA algoritmust használtuk. A számításokat három különböző esetre végeztük el, és a kapott eredményeket elemezve úgy tűnik, hogy a FWA algoritmus alkalmas lehet a inverz hőtani problémák megoldására úgy, hogy semmiféle előfeltétellel nem élünk a várt komplex hőátadási együttható alakjával kapcsolatban.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a pénzügyi támogatásért a Magyar Állam és az Európai Unió közös EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projectjének.

Irodalom

- [1.] **Beck J. V- Blackwell B- St Clair Jr. C.R:** *Inverse Heat Conduction*, Wiley, New York, 1985.
DOI: 10.1002/zamm.19870670331
- [2.] **Alifanov O.M.:** *Inverse Heat Transfer Problems*, Springer, Berlin/Heidelberg, 1994.
Özisik M.N.; Orlande H.R.B.: *Inverse Heat Transfer: Fundamentals and Applications*, Taylor & Francis, New York, 2000
- [3.] **Verma S.- Balaji C:** *Multi-parameter estimation in combined conduction radiation from a plane parallel participating medium using genetic algorithms*, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 50, 1706-1714., 2007 DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.10.045
- [4.] **Kim K.W.- S.W. Baek:** *Inverse surface radiation analysis in an axisymmetric cylindrical enclosure using a hybrid genetic algorithm*, *Numerical Heat Transfer Part a e Applications* 46 (4) 367-381., 2004 DOI: 10.1080/10407780490478533
- [5.] **Felde I.:** *Estimation of Thermal Boundary Conditions by Gradient Based and Genetic Algorithms*, *MATERIALS SCIENCE FORUM* 729: pp. 144-149. (2012) DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.729.144
- [6.] **Y. Tan - C. Yu - S. Zheng - and K. Ding:** "Introduction to fireworks algorithm," *International Journal of Swarm Intelligence Research (I-JSIR)*, vol. 4, no. 4, pp. 39–70, 2013.
- [7.] **Y. Tan - Y. Zhu:** "Fireworks algorithm for optimization," in *Advances in Swarm Intelligence*, pp. 355–364, Springer, 2010.
- [8.] **S. Zheng - A. Janeczek - Y. Tan:** "Enhanced fireworks algorithm," in *Evolutionary Computation (CEC)*, 2013 IEEE Congress on, pp. 2069–2077, IEEE, 2013.
- [9.] **J. Liu - S. Zheng - Y. Tan:** "The improvement on controlling exploration and exploitation of firework algorithm," in *Advances in swarm intelligence*, pp. 11–23, Springer, 2013.

- [10.] **J. Li - S. Zheng - Y. Tan:** “Adaptive fireworks algorithm,” in *Evolutionary Computation (CEC), 2014 IEEE Congress on*, pp. 3214–3221, IEEE, 2014
- [11.] **Felde I.:** *Estimation of Thermal Boundary Conditions by Gradient Based and Genetic Algorithms*, MATERIALS SCIENCE FORUM 729: pp. 144-149. (2012) DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.729.144
- [12.] **Y. Tan - C. Yu - S. Zheng - K. Ding:** “Introduction to fireworks algorithm,” *International Journal of Swarm Intelligence Research (I-JSIR)*, vol. 4, no. 4, pp. 39–70, 2013.
- [13.] **Y. Tan - Y. Zhu:** “Fireworks algorithm for optimization,” in *Advances in Swarm Intelligence*, pp. 355–364, Springer, 2010.
- [14.] **S. Zheng - A. Janecek - Y. Tan:** “Enhanced fireworks algorithm,” in *Evolutionary Computation (CEC), 2013 IEEE Congress on*, pp. 2069–2077, IEEE, 2013.
- [15.] **J. Liu - S. Zheng - Y. Tan:** “The improvement on controlling exploration and exploitation of firework algorithm,” in *Advances in swarm intelligence*, pp. 11–23, Springer, 2013.
- [16.] **J. Li - S. Zheng - Y. Tan:** “Adaptive fireworks algorithm,” in *Evolutionary Computation (CEC), 2014 IEEE Congress on*, pp. 3214–3221, IEEE, 2014

Sejtautomata szimuláció alkalmazása kalorimetriás mérések kinetikai kiértékelésében

Application of cellular automata simulation in kinetic evaluation of calorimetric measurements

Bubonyi Tamás^{1*}, Dr. Barkóczy Péter¹, Gyöngyösi Szilvia²

Bevezetés

Képlékenyalakítás során a fémek diszlokációsűrűsége megnő [1], ami megemeli az alakított fém energiáját [2]. Ezt az energiátöbbletet tárolt energiának nevezzük, és a lágyulási folyamatban felszabadul [3]. Amennyiben kis rétegződési hibaenergiájú fém lágyulását vizsgáljuk, akkor a lágyulás újrakristályosodással történik [4]. Újrakristályosodás során a tárolt energia felszabadulása elég intenzív ahhoz, hogy kalorimetriával mérhető legyen [5]. Mivel újrakristályosodás során a vizsgált térfogat a nagy és a kis diszlokációsűrűségű térfogatelemek keveréke, az időegység alatt felszabaduló tárolt energia arányos az újrakristályosodott térfogat növekményével [6]. Ezáltal kis rétegződési hibaenergiájú fémekben a kaloriméteres mérések alapján az újrakristályosodott hányad idő és hőmérséklet függése, azaz a folyamat kinetikája egyértelműen meghatározható [7]. A termokinetikai kiértékelési eljárások természetesen feltételezik, hogy az újrakristályosodás kinetikája a JMAK összefüggéssel leírható [8].

A szakirodalom számos közelítést használ az JMAK egyenlet közelítő megoldására, ami miatt több kiértékelési módszert javasol a szakirodalom a kalorimetriás mérések elemzésére [9]. Ebből a legismertebb és legszélesebb körben alkalmazott a Kissinger féle eljárás, amit felhasználva a JMAK egyenlet összes állandója (aktiválási energia, kinetikai állandó, Avrami kitevő) számítható. A másik széles körben elterjedt módszert Ozawa javasolta [10]. A módszer alapegyenleteinek célszerű átrendezéséből ugyancsak minden említett állandó számítható. A többi eljárással csak részleges információt kapunk, többnyire az aktiválási energia és a kinetikai állandón keresztül.

OFHC minőségű, hidegen hengerelt rézlemezekből kimunkált minták mérési eredményein keresztül végeztük el a szakirodalmi módszerek kritikai összehasonlító elemzését. Megállapítottuk, hogy az aktiválási energia meghatározására robusztus eljárást adnak. A kinetikai állandó meghatározása már jóval nagyobb hibával terhelt. Az Avrami kitevő meghatározására adott javaslatok azonban könnyen számolnak a fizikai korlátoknak nem megfelelő értéket.

A sejt automata az újrakristályosodás mikroszerkezeti szimulációjának kedvelt eljárása egyszerűsége és emellett komplex viselkedése miatt [11]. A sejt automata szimulációkat vizsgálva felismertük, hogy egy-dimenziós sejt automatával is szimulálhatók az újrakristályosodás során végbemenő mikroszerkezeti folyamatok [12]. Bemutattuk, hogy kinetikai mérési eredményeket használva, optimum kereső algoritmusokkal az automaták skálázhatók újrakristályosodás szimuláció esetén is [13]. Több mérési módszert alkalmazva, OFHC rézlemezek kalorimetriás méréseivel is elvégeztük a skálázást [14].

A skálázás után a szimuláció paramétereit és a kalorimetriás mérések kinetikai kiértékelésének eredményeit összevetve észleltük, hogy a szimuláció paramétereit és a kinetikai állandók között kapcsolat található, amivel az Avrami kitevő értékének meghatározása robusztussá tehető. Tanulmányunkban a kinetikai kiértékelések egy célszerű kiegészítését mutatjuk be, amivel a kinetikai állandók meghatározása robusztusabban elvégezhető.

Anyag és vizsgálati módszerek

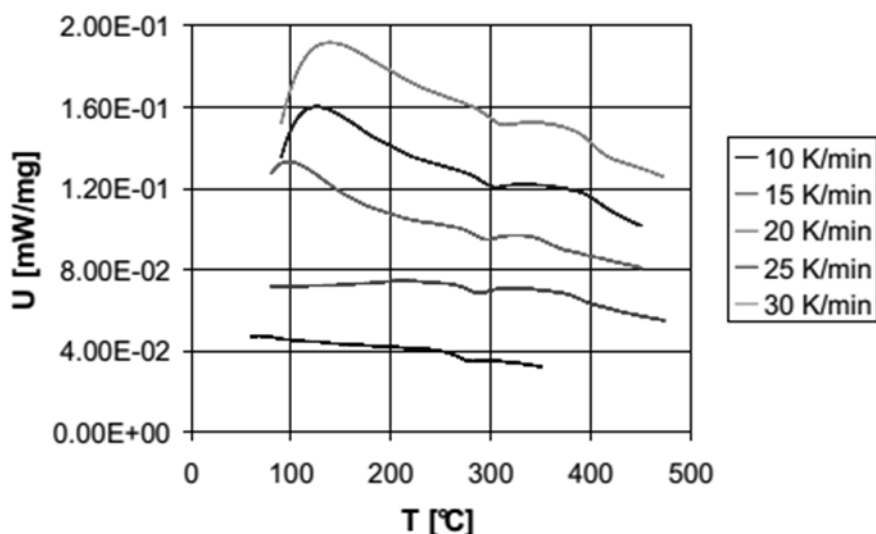
OFHC minőségű folyamatosan öntött 10mm-es brammát 400°C-on 1 órán keresztül izzítottuk öntöttvasforgács alatt. A hőkezelt tömböt kísérleti hengerállványon több szúrásban 10 mm-ről 1mm vastagságúra hengereltük. Mintát vettünk 6, 5, 4, 3, 2, 1 mm vastagságokban. Az alakíttottság mértékét a lemez vastagságának százalékos

¹ Miskolci Egyetem, Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

² Debreceni Egyetem, Szilárdtestfizikai Intézet

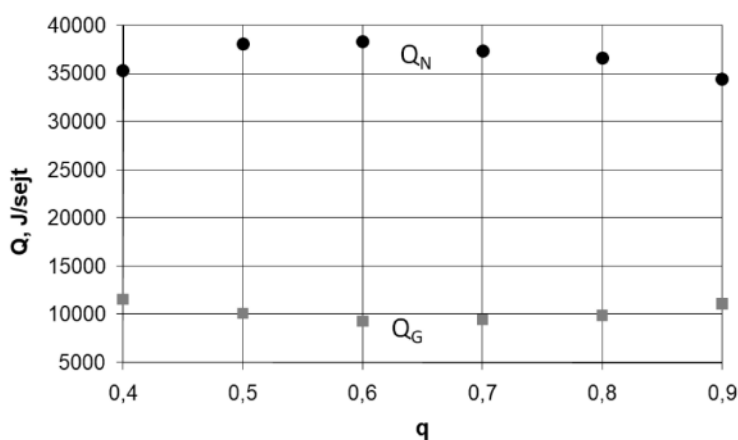
* fembubo@uni-miskolc.hu

csökkenésében adjuk meg. A lemezekből DSC vizsgálatra mintákat munkáltunk ki. A DSC vizsgálatot Netsch DSC 404 berendezésen, nitrogén védőgázban végeztük el saválló acél etalont használva. Az alkalmazott felfűtési sebességek 10, 15, 20, 25 és 30 K/min voltak. A mérési eredményeket a [6] dokumentálja, egy példa DSC görbét az 1. ábra mutat.



1. ábra: OFHC réz DSC mérésének eredményei. Az alakítás mértéke 50%.

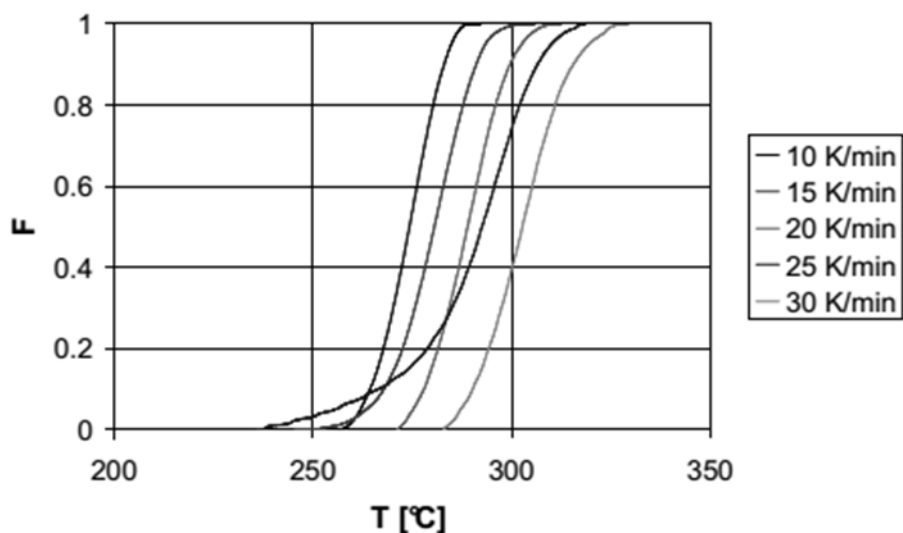
Az [11] tanulmányban bemutatott egy-dimenziós sejt-automatát illesztettünk a mérési eredményekre a [13] tanulmányban bemutatott módon. Az illesztés eredményéül a csíráképződés és csíranövekedés aktiválási energiáját kapjuk meg az alakítás mértékének függvényében. Az eredményeket a 2. ábra mutatja.



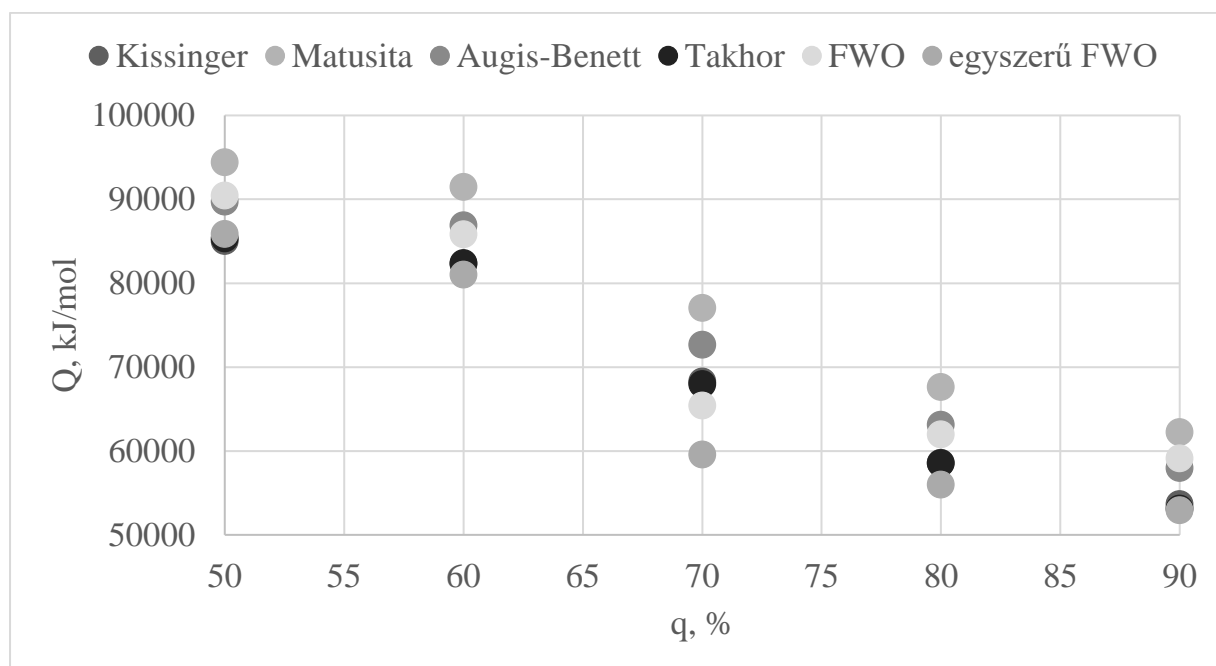
2. ábra: OFHC réz DSC mérésének sejt automata szimulációval történt illesztéssel kapott csíráképződés (Q_N) és csíranövekedés (Q_G) aktiválási energiája.

Eredmények

Az 1. ábrán látható mérési eredmények kiértékelésénél, a tárolt energia felszabadulásának hőmérséklettartományában lineáris alapvonalat feltételezve a hőhatás okozta csúcs a mérési görbéről leválasztható, aminek integrálja arányos az újrakristályosodott térfogathányad változásával (3. ábra). Ennek termokinetikai kiértékelését végeztük el Kissinger, Takhor és Ozawa által javasolt eljárás szerint. A kapott kinetikai paramétereket az 1. táblázat foglalja össze, amíg az aktiválási energia alakítás mérték függését a 4. ábra mutatja.



3. ábra: A háttértől leválasztott csúcsok integrálásával kapott újrakristályosodott hányad görbék.



4. ábra: Újrakristályosodás aktiválási energiájának meghatározása az alakitottság mértékétől függően.

1. táblázat: A JMAK egyenlet DSC mérések feldolgozásával kapott paraméterei: Q az aktiválási energia, K_0 a kinetikai állandó és n az Avrami kitevő

q, %	Kissinger			Takhor		Flynn-Wall-Ozawa	
	Q, J/mol	K_0 , 1/s	n	Q, J/mol	K_0 , 1/s	Q, J/mol	n
50	85001,6	673197,6	3,4	85319,4	77050,7	90426,3	2,2
60	82270,6	540816,4	3,8	82392,4	61316,9	85804,1	4,3
70	68279,6	50962,9	4,4	67954,5	6304,2	65388,0	-
80	58589,3	3183,9	3,5	58523,1	486,6	61976,2	-
90	53661,9	1932,5	3,5	53111,5	288,8	59108,4	2,7

Szakirodalomban elfogadottan a meghatározott aktiválási energia és a csíráképződés és növekedés aktiválási energiája között az Avrami kitevő teremt kapcsolatot a következő összefüggés alapján:

$$Q = \frac{Q_N + (n-1)Q_G}{n} \quad (1)$$

A folyamat aktiválási energiája a kiértékelésből ismert, amíg a csíráképződés és növekedés aktiválási energiája az illesztett sejt automata szimuláció alapján ismert. Ami ismeretlen, az az Avrami kitevő.

Tekintve az aktiválási energia értékeket, látható, hogy az Avrami kitevő értéke az (1) összefüggés alapján az alakítási mértéktől függő érték lesz. Ez az újrakristályosodó térfogat alakjának megváltozása miatt bekövetkező növekedési szabadsági fok csökkenés miatt a JMAK elmélettel összhangban van.

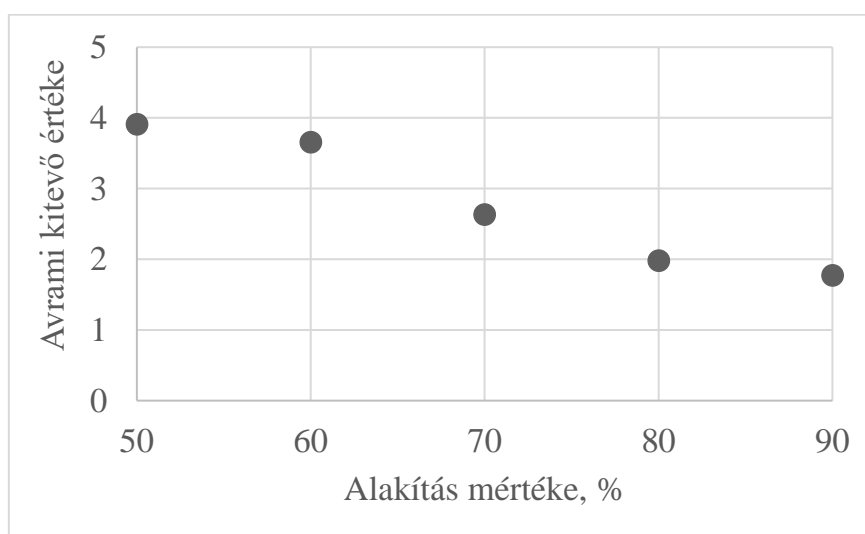
Az összevetés problémája, hogy a szimuláció megválasztott tárolt energiával működik és nem a kalorimetriás mérésből számított értékkel. Természetesen ez az eljárás nem elvégezhető az így kapott skálázás túlhatározottsága miatt. A Kissinger módszer értékes értékeit tekintve egy skálatényezőt kellett bevezetnünk. Például a Takhor módszer aktiválási energia értékeit és az adott szimulációs paramétereket tekintve egy 0,8 skálafaktort bevezetve a kinetikai kiértékelés és az illesztett szimuláció paraméterei alapján az Avrami kitevő a következő összefüggéssel számítható:

$$0,8Q = \frac{Q_N + (n-1)Q_G}{n} \quad (2)$$

A kapott értékeket a 2. táblázat és az 5. ábra mutatja. Látható, hogy a lemez vastagságának növekedésével folyamatosan csökken az Avrami kitevő értéke. A vékony lemezek esetén telítésbe menő jellege a réz keményedésének jellegével függ össze a keményedési kitevőjének megfelelően.

2. táblázat: A DSC görbék Takhor féle kiértékelése és a DSC eredmények illesztése alapján meghatározott Avrami kitevő értékek.

q, %	50	60	70	80	90
n	3,9	3,7	2,6	2,0	1,8



5. ábra: Avrami kitevő számítása a Takhor módszer segítségével meghatározott aktiválási energia értékek és 0,8-as skálafaktor alkalmazásával.

Összegezve a két módszer, a termokinetikai kiértékelés és sejt automata szimuláció skálázása, együttes alkalmazásával a JMAK egyenlet minden állandója robosztusan meghatározható. Emellett képet kapunk a csíráképződés és növekedés viszonyáról. Akár a JMAK egyenlet, akár az egy-dimenziós automata alkalmazható a folyamat sebességének számítására adott idő-hőmérséklet függvény esetén.

Összegzés

Hidegen hengerelt OFHC rézlemezek újrakristályosodási kinetikáját mértük DSC berendezéssel. A mérések teljes kinetikai kiértékelését elvégeztük. Ez után egy egy-dimenziós újrakristályosodás szimulációt skáláztunk a mért eredményekkel. A szimuláció kapott paraméterei és kinetikai állandók között kapcsolatot találtunk. Egy skálatényezőt alkalmazva a folyamat aktiválási energiája és a csíranövekedés és képződés aktiválási energiája

alapján az Avrami kitevő értékét meghatároztuk az alakítás mértékének függvényében. A bemutatott mérési eredmények és szimulációs számítások esetén ez a skálatényező 0,8. Alkalmazásának oka, hogy a szimulációban nem a megfelelő mért tárolt energia értéket használtuk. Azonban ezzel a skálatényezővel a klasszikus kinetikai kiértékeléseket kiegészítve a sejt automata szimuláció illesztéséből származó paramétereivel a folyamat egy teljesebb kinetikai leírása végezhető el.

Köszönetnyilvánítás

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-2. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

A kutatás az NKFI119566K azonosítójú program keretében valósult meg.

A kutatás eredményeinek konferencián történő bemutatását az NTP-HHTDK-18 azonosítójú pályázat támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1.] Verő J. – Káldor M.: *Fémten: Nemzeti Tankönyvkiadó, 1996.*
- [2.] John D. Verhoeven: *Fundamentals of Physical Metallurgy, Willey & Sons, 1975*
- [3.] Barkóczy P, Somogyi I, Roósz A, Tranta F: *Újrakristályosodás vizsgálata DSC-méréssel pp. 53-57., In: Tóth (szerk.) XIX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia Dunaujváros, Magyarország : Dunaujvárosi Főiskola (DF), (2000)*
- [4.] P. Cotterill, P. R. Mould: *Recrystallization and Grain Growth in Metals, Surrey University Press, 1982*
- [5.] D. Mandal, I. Baker, *Scripta Metall, Vol. 33, No. 4, pp. 645-650, 1995*
- [6.] Barkóczy Péter, Ömböli Norbert, Hegyes Tibor: *OFHC réz újrakristályosodási kinetikájának vizsgálata, MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYEI. 2. SOROZAT ANYAGMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK 36 : 1 pp. 103-112. , 10 p. (2011)*
- [7.] Mucsi, András ; Barkóczy, Péter: *AZ ÚJRAKRISTÁLYOSODÁS KINETIKÁJÁNAK LEÍRÁSA A FOLYAMAT HŐEFFEKTUSA ALAPJÁN pp. 233-238., In: Bitay, Enikő (szerk.) Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka XV. : Nemzetközi Tudományos Konferencia Kolozsvár, Románia : Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME), (2010) p. 384*
- [8.] J. A. Augis, J. E. Benett, *J. Thermal Anal., Vol. 13, pp. 283-292, 1977*
- [9.] E. J. Mittmeijer, A. Van Gent, P. J. Van Der Schaaf, *Metallurgical Transactions, Vol. 17A, pp. 1441-1445, 1986*
- [10.] F. Baitalow, G. Wolf, H. G. Cshmidt, *J. Thermal Anal., Vol 52, pp. 5-16, 1998*
- [11.] Gyöngyösi Szilvia, Barkóczy Péter, Tóth Anita: *Rövidtávú diffúziós folyamatok szimulációja sejtautomata módszerrel, MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYEI - 2. SOROZAT ANYAG- ÉS KOHÓMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK 1 : 35 pp. 17-26. (2010)*
- [12.] Szilvia, Gyöngyösi ; Péter, Barkóczy: *Simulation of grain coarsening using one-dimensional cellular automaton, MATERIALS SCIENCE FORUM 752 pp. 217-222. , 6 p. (2013)*
- [13.] Szilvia, Gyöngyösi ; Péter, Barkóczy: *Scaling cellular automaton simulations of short-range diffusion processes, MATERIALS SCIENCE FORUM 729 pp. 150-155. (2013)*
- [14.] Demkó, Gábor ; Barkóczy, Péter ; Gyöngyösi, Szilvia: *Újrakristályosodás egydimenziós sztochasztikus sejtautomata skálázása DSC mérési eredményekkel, MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYEI: ANYAGMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK 37 : 1 pp. 55-64. (2012)*

Innovatív roncsolásmentes maradó feszültségmérés és anizotrópia vizsgálat robot alapú röntgendiffraktométerrel

Innovative non-destructive residual stress measurement and anisotropy test with robot-based X-ray diffractometer

Sepsi Máté¹, Cseh Dávid¹, Dr. Mertinger Valéria¹, Dr. Benke Márton¹

Összefoglalás

Maradó feszültség meghatározása, monitorozása tudatos befolyásolása különösen a járműipari alkatrészek gyártása, élettartama alatt kiemelkedően fontos, mivel a maradó feszültség jelentősen befolyásolja az alkatrész élettartamát. Ebből kifolyólag a maradó feszültség értékének biztosítása napjainkban már nagyon gyakran beszállítói követelmény. Mivel szinte minden technológiai lépés (öntés, hőkezelés, megmunkálás, forgácsolás, felületkezelés) változást okoz a maradó feszültség állapotban így annak alakulása nagyon komplex és változatos lehet akár egy alkatrészen belül is. Számos módszer létezik a maradó feszültség vizsgálatára. Jelen dolgozatban példát mutatunk be roncsolásmentes röntgendiffrakciós vizsgálati eljárásra, bemutatjuk azt az új, országosan egyedül álló fejlesztést mely további szabadsági fokot jelent alkatrészek roncsolásmentes maradó feszültségének jellemzésére, illetve egy olyan új módszert amit a központnélküli röntgendiffraktométerek biztosítanak számunkra a kristálytani anizotrópia jellemzésére.

Bevezetés

Amikor egy szilárd testben feszültség hat, miközben a testet semmilyen külső erőhatás nem éri, akkor a szóban forgó feszültséget maradó feszültségnek nevezzük. (1). A maradó feszültséggel foglalkozó szakma hazai képviselői a maradó feszültség fogalma mellett használják még a belső feszültség, saját feszültség és a különböző, a kialakulásért felelős technológiák szerinti hő feszültség, alakítási feszültség stb. megnevezéseket is.

Üzemi körülmények között egy alkatrészben ható tényleges feszültség a külső hatásokból ébredő és a belső feszültségek vektoriális összege lesz. Ebből fakad a gépészeti gyakorlat maradó feszültség ismeretére és befolyásolni tudására irányuló igénye. Amikor a maradó feszültség befolyásolásáról beszélünk, szinte minden esetben arra törekszünk, hogy egy adott alkatrész alkalmazás által meghatározott térfogatában maradó nyomó feszültséget hozzunk létre.

A maradó feszültség célzott gépipari alkalmazása egyre elterjedtebb gyakorlattá válik. Számos esetben a maradó feszültség értékét, beszállítói követelményként írják elő. Ezt támasztják alá a tudományos műhelyembe a versenyszférából folyamatosan érkező különböző maradó feszültség meghatározását célzó felkérések és a Németországban, Rennerodban a Stresstech GMBH-nál végzett szakmai gyakorlatok során szerzett tapasztalataink is.

A maradó feszültséggel erősített gépalkatrészek élettartam becsléséhez ismernünk kell a maradó feszültség üzem közbeni viselkedését, vagyis üzem közbeni stabilitását. A felhasználás számára implementált direkt maradó nyomó feszültség üzem közbeni változását leírni képes, a folyamatra hatást gyakorló változók hatásával is kalkuláló, általános törvényszerűséget jelenleg nem ismerünk.

A maradó, vagy belső feszültségek a testen belül egyensúlyi állapotban vannak. Ha képesek lennénk egy test minden egyes pontjában ható maradó feszültségeket összegezni, végül zérusvektort kapnánk, hiszen Newton III. törvénye szerint az erők mindig párosával lépnek fel. Ha ezt, az egyensúlyi maradó feszültség állapotot valahogyan megbontjuk, pl. egy testben furatot hozunk létre, a belső feszültségek újból egyensúlyi állapotba rendeződnek. Ilyenkor előfordulhat, hogy a darab egyes térfogatrészeiben a kialakuló feszültség értéke helyileg átlépi a folyáshatárt, ami a darab lokális alakváltozását, végeredményben a darab makroszkopikus deformációját okozhatja.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

Ez az egyik leggyakoribb belső feszültségek által előidézett meghibásodási mód. A másik káros jelenség az, amikor vektorok szuperpozíciójának elvéből következően a belső feszültség vektorosan összeadódik egy külső, feszültséggel, így növelve azt. Ekkor látszólag határfeszültség alatti külső megterhelés is a darab tönkremenetelét okozhatja. Ugyanez a jelenség magában hordozza annak a lehetőségét, hogy a maradó feszültség jelenlétét hasznunkra fordítsuk. Ehhez ismerni kell a test veszélyes pontjait, és ott a felhasználáskor várható veszélyes terhelés irányát, és képesnek kell lenni azzal ellentétes irányú maradó feszültséget létrehozni. Így a veszélyes pontokban a külső és a belső feszültségek különbsége hat. (2)

A belső maradó feszültségek kiterjedésüket tekintve hagyományosan három csoportba sorolhatók, mely felosztás feltételezi, hogy fémes tulajdonságú anyagokról beszélünk (3):

I. rendű feszültségeknek nevezzük azokat a belső feszültségeket, amelyek kiterjedésüket tekintve a darab befoglaló méreteivel azonos nagyságrendben vannak, összehasonlíthatóak vele. Ezeket másképpen makroszkópos feszültségeknek nevezzük. Ezeknek a feszültségeknek kialakulásában szerepet játszhat a darab képlékeny hidegalakítása, forgácsoló megmunkálás, hegesztés, nagyobb kiterjedésű darabok esetén, ha a lehűlést nem tudjuk precízen szabályozott keretek között végbe vinni, bármiféle nagy hőmérsékletű technológia, mint például az öntés, hőkezelés, meleg képlékenyalakítást követő hűlés. A hőnek kiterjedt testekben való terjedésére vonatkozó törvényszerűségek szerint, a darab keresztmetszetében a hőelvonás irányából a darab közepe felé haladva egyre kisebb lehülési sebességek okozta eltérő mértékű hődilatáció ún. hőfeszültséget idéz elő.

II. rendű vagy mikroszkópos feszültségeknek nevezzük azokat a feszültségeket, melyek kiterjedésüket tekintve a szemcsék átlagos méretével vannak azonos nagyságrendben (2. ábra). Ezeknek a feszültségeknek értéke, előjele, azaz iránya a szemcsehatárt átlépve megváltozhat. A jelenség oka az adott irányú alakító erőre különböző módon reagáló egymással határos eltérő kristálytani orientációjú vagy fázisú szemcsék eltérő mértékű alakváltozási hajlandósága. Az alakító erő hatására környezetüknél kisebb mértékben képlékenyen alakváltozó szemcsék határaikon az alakítás irányában húzó feszültséget ébresztenek, az alakváltozásaik mértékének különbségével arányosan. Ezzel ellentétes hatással van környezetére, de elviekben ugyanezzel a jelenséggel magyarázható, hogy az adott feszültséggel terhelt heterogén anyagi térfogatrészben az adott feszültségre nagyobb mértékben képlékenyen alakváltozó szemcse határain az alakítás irányába nyomó feszültséggel terheli a szomszédos szemcséket. Ez a másodrendű feszültség az adott térfogatrészben anizotróp módon ébreszt feszültségeket, mely a képlékeny alakváltozás mechanizmusának kristálytani irányoktól való függéséből következik.

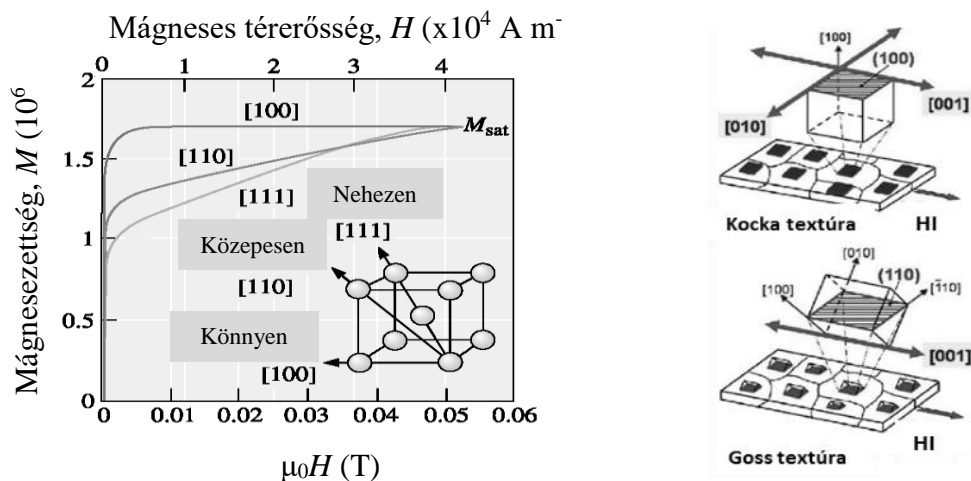
III. rendű vagy szubmikroszkópos feszültségnek nevezzük azokat a feszültségeket, melyek kiterjedésüket tekintve néhány atom átmérő távolságon belül hatnak, s melyeknek oka rendre valamely kristályrácsban belüli rendellenesség: vakancia, intersztíciós vagy szubsztitúciós atom, illetve minden egydimenziós rácshiba, azaz diszlokáció. Könnyű belátni, hogy adott (fémes) kristályrácsba beépülő, idegen, az adott kristályrácsot alkotó atomoknál nagyobb átmérőjű atomok környezetében nyomó feszültség fog uralkodni, míg az ötvözet apaféménél kisebb méretű atomok körül húzott térfogatrész alakul ki. Éldiszlokációk esetén az extra sík két oldala nyomott, míg az extra síkkal szembeni térrész húzó feszültséggel terhelt.

Természetesen az egyes technológiai műveletek első, másod, és harmadrendű feszültségeket egyaránt előidézhetnek. A maradó feszültség tartalom a szilárd fázis sajátos tulajdonsága. Bár sokszor elhanyagolható mértékben van jelen és nem veszünk róla tudomást. Ha abból indulunk ki, hogy egy szilárd testben maradó feszültség kialakulását idézi elő minden hőmérsékletváltozással járó technológia, hiszen csak végtelen lassú hőmérsékletváltozással tudjuk garantálni, hogy a hőmérséklet egy szilárd test minden pontjában (a darab magjában és a kéregben egyaránt) azonos legyen. (4)

A maradó feszültség sokáig, mint típusos hibaforrás foglalt helyet a gépészeti szakma fogalom világában. Azt elkerülni, szabályozni feszültségtelenítő, mentesítő, hőkezeléssel csökkenteni igyekeztünk. A feszültségmentesítő hőkezelés régóta alkalmazott eljárás, azonban feszültségmentes állapotot létrehozni így sem tudunk, ám annak mértékét nagy mértékben csökkenteni tudjuk. Bizonyos gyártási eljárások folyamán a maradó feszültségnek az az optimuma, ha annak értéke a munkadarab minden pontjában minél inkább közelít a nullához. Ilyenek a forgácsoló és a daraboló megmunkálások. Hengerelt lemeztáblák lézeres méretre vágása során a lemez integritásának megbontása annak vetemedését okozza. Ipari megrendelésű maradó feszültség vizsgálataink során találkoztunk olyan extrém esettel, amikor a maradó feszültséggel terhelt alumínium táblák darabolása

közben a felszabaduló feszültségek a lemez oly mértékű és dinamikájú alakváltozását okozták, hogy az a lézeres vágófejnek ütközve annak tönkremenetelét okozta.

Textúrának nevezzük a polikristályos fémekben a kristályok orientációjának a véletlenszerűtől való eltérését. A kristályok nem véletlenszerű orientációja anizotróp (térben irány függő) tulajdonságokat eredményez. Az anizotrópiának kitüntetett gyakorlati jelentősége például a mechanikai és a mágneses tulajdonságoknál van. Az 1. ábra mágnesezési irányfüggésre, míg az 1. táblázat a rugalmassági modulus függőségre mutat példát.



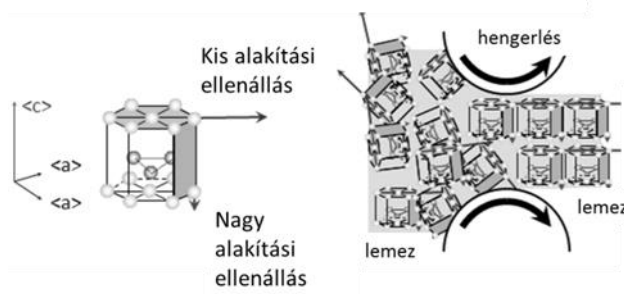
1. ábra: transzformátor lemezek mágnesezési görbéjének függése a kristálytani iránytól (5) és a hozzá tartozó nevezetes Goss és Kocka textúrák (6)

5. táblázat: Tiszta fémek rugalmassági modulus értékének irányfüggése (2)

Fém	Rugalmassági modulus, GPa		
	[100]	[110]	[111]
Al	63,7	72,6	76,1
Cu	66,7	130,3	191,1
Fe	125	210,5	272,7

A textúra oka polikristályos fémeknél a képlékenyalakítás, újrakristályosodás és az öntés, és mivel textúrák jellege azok okainak megfelelően eltérő, ezért megkülönböztetünk alakítási, újrakristályosodási és öntési textúrát. Az öntési textúra alakulását a hőelvonás iránya, illetve a csiraképződési feltételek szabják meg, hogy a szilárd fázis szemcséi milyen irányban növekednek. Az alakítási textúra létrejöttében nagyon fontos szerepet játszik a diszlokációs csúszás, ami a fémekben az atomsíkok elmozdulását, valamint a szemcsék alakváltozását eredményezi (7) (8) (9) A diszlokáció csúszása okozta atomsík elmozdulás kitüntetett rácssíkon kitüntetett irányban zajlik. A fentebb említettek alapján, ha a fémeket alakítjuk, a kristályok a számukra kedvező pozícióba fordulnak, így anizotrópiát okozó kristályorientáció jön létre (2. ábra). A kristálytani textúra egyik leglátványosabb hatása a mélyhúzásnál jelentkezik, ahol a félkész termék vastagságát meleg vagy hideg hengerléssel érik el (pl. lemez). A félkész terméket erős alakítási textúra jellemzi, emiatt erős az anizotrópiája, ami a mélyhúzásnál fülesedést okoz (3. ábra). Az erős alakítási textúra csökkentése érdekében alkalmazhatunk lágyító hőkezeléseket, azonban a lágyító hőkezelések során számolni kell az újrakristályosodási textúra létrejöttével. Az újrakristályosodott szerkezet is anizotróp lesz, mivel az újrakristályosodás is kitüntetett síkok mentén fog végbemenni. Minimális fülesedés az alakítási és újrakristályosodási textúra kombinációjával valósíthatjuk meg. Az 1. ábra transzformátor lemezénél mutatott nagy gyakorlati jelentőséggel bíró Goss textúra is melegalakítással hozható létre. Ennek ellenére, hogy az elmúlt 50 évben egy intenzíven kutatott terület volt ezen textúra kialakulása, még a mai napig is vannak nyitott kérdések (10).

Amennyiben megfelelő módon tudjuk „olvasni” ezen „lennyomatokat”, úgy betekintést nyerhetünk az anyag alakadási és alakítási körülményeibe.



2. ábra: Magnézium hengerlési textúrájának kialakulása (11)



3. ábra: Fülesedés megjelenés mélyhúzásnál (saját felvétel)

Maradó feszültség és textúra meghatározása központ nélküli röntgendiffraktométerekkel

Mivel a kristályos anyagban a rugalmas maradó rácsfeszültség hatására a rácssíkok távolsága megváltozik, a rácssík távolságok megváltozásának mérésével visszaszámolható a feszültség. Tehát maradó feszültség mérésekor az adott d_{hkl} rácssík távolság változás okozta Bragg szög eltolódását mérjük. Ennek alapján az adott irányú feszültség az $\text{un. } \sin^2\Psi$ módszerrel meghatározható:

$$\sigma = \frac{d_{\Psi} - d_0}{d_0} \frac{E}{(1+\nu)\sin^2\Psi} \quad (1)$$

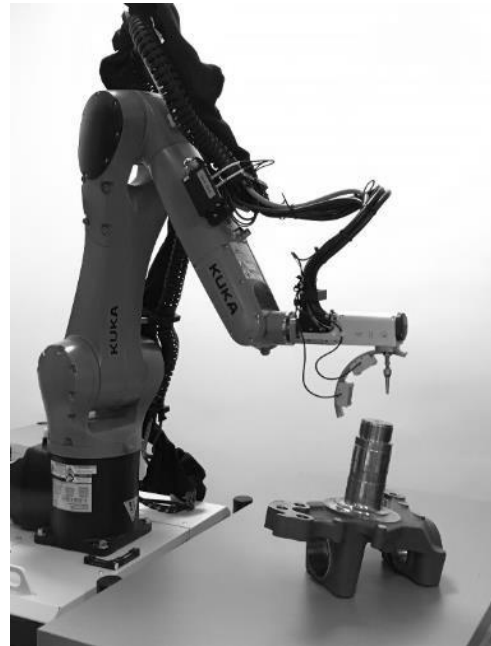
ahol: d az adott Miller indexű síksorozat távolsága (normál $=d_0$) illetve azzal Ψ szöget bezáró irányban (d_{Ψ}), E a rugalmassági modulus ν pedig a Poisson szám. Ez azt jelenti, hogy a rácstávolságot legalább két irányból kell mérni. A berendezés egy középpont (centerless) elrendezésű célzottan maradó feszültség és maradék ausztenit meghatározására fejlesztett röntgen diffraktométer. A berendezés a centerless kiképzésnek köszönhetően alkalmas *in situ* maradó feszültség meghatározására, nincs szükség mintavételre, mint a hagyományos, többfunkciós Euler bölcsovel ellátott diffraktométerek esetében. A hagyományos elrendezésű diffraktométerek sugár forrásának és detektorának egyazon közös tengely körül és egy síkban kell egymáshoz képest is meghatározott sebességgel szögelfordulást végezniük, miközben a vizsgálandó mintát ebbe a középpontba helyezve kell szabályozottan dönteni, elfordítani. Minden ilyen szögelfordulást nagy pontossággal kell végezni. Belátható, hogy a finommechanikával mozgatható minta mérete limitált. Az általunk használt berendezés a detektor és a sugárforrás egymáshoz képesti szabályozott elmozdulásnak követelményét vonaldetektor alkalmazásával oldja fel. A rögzített szög tartomány intenzitás eloszlásának regisztrációja a vonaldetektor mentén történik. A vizsgált minta mozgatása helyett pedig a goniométert (azaz a röntgen cső és a detektorok együttesét) dönti a vizsgált pont felett a mérés számára szükséges pozícióba. A fent említett konfiguráció megvalósítására különböző mozgási szabadságot biztosító megoldások vannak. Intézetünk kétféle konfigurációval is rendelkezik. A lehető legnagyobb szabadságot egy KUKA robotkarra szerelt diffraktométer biztosítja. A kétféle konfigurációt mutatja be a 4. ábra.

A kristálytani anizotrópiát gyakran összekeverik a szemcsealak (morfológiai) anizotrópiával, mely szintén jellemzően hidegalakításkor alakul ki és mikroszkópi képeken is jól láthatóvá tehető. Vannak olyan metallográfiai módszerek, amelyek a kristálytani anizotrópiát és a morfológiai anizotrópiát próbálják jellemezni. Ilyen módszer például alumínium ötvözeteknél alkalmazott Barker színes „maratási technika”,

amivel maratva a darabokat a különböző irányítottságú szemcséken különböző vastagságú csapadék képződik, melyet polarizált fényben különböző színűnek látunk.



a)

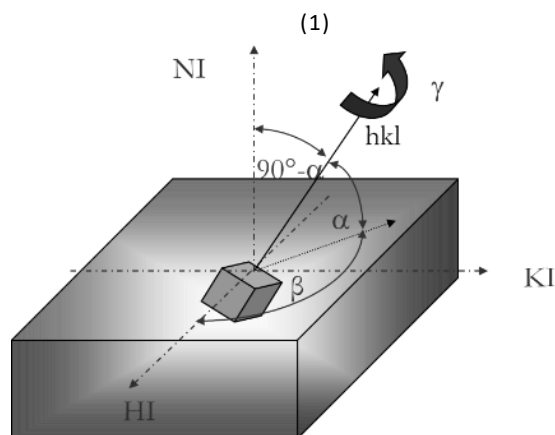


b)

4. ábra: Központ nélküli röntgendiffraktométerek a Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetben a) Stresstech G3R b) Stresstech Stress Robot

Azonban a Barker maratás által nyújtott kvalitatív információ nem bizonyul elégségesnek azoknál a problémáknál, ahol a textúrának jelentősebb szerepe van, ilyenkor kvantitatív módon kell meghatározni azt.

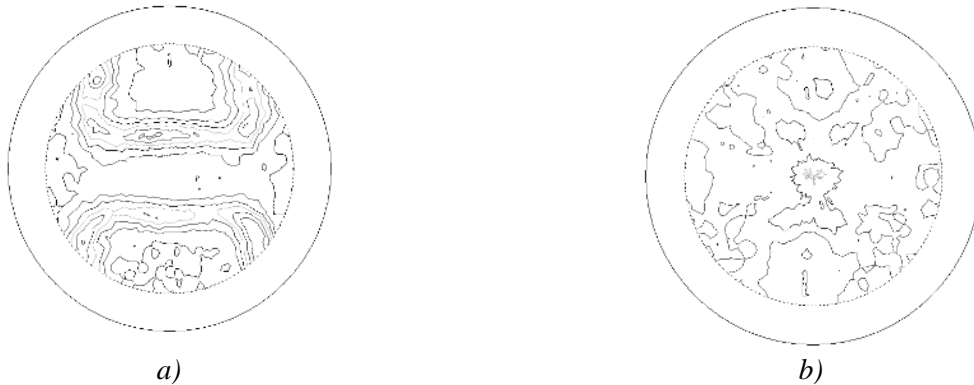
Meg kell határoznunk egy kötött koordináta rendszert, amiben az egyes szemcsék orientációját értelmezni tudjuk. Ezt a koordináta rendszert célszerű a mintához rendelni, mégpedig úgy, hogy a koordináta rendszer tengelyei egybeessenek a minta jellemző irányaival. Így egy hengerelt mintánál értelmezhető hengerlési irány (HI), kereszt irány (KI), és normál irány (NI). Ebben a kötött koordináta rendszerben egy szemcsé orientációját úgy értelmezzük, hogy a szemcsét annak egy elemi cellájával helyettesítjük, és ezen elemi cella valamely (hkl) síkjának normálisát jellemezzük a 5. ábra szerinti módon az α , β és γ szögek segítségével.



5. ábra: Elemi cella pozíciójának megadása hengerelt lemezben (1)

Az α szög nem más, mint a (hkl) sík normálisának a minta NI-val bezárt ($90^\circ - \alpha$) szög komplementer szöge, a β szög a (hkl) sík normálisának a HI és KI által meghatározott síkban HI-nyal bezárt szöge, valamint γ szög, ami

a hkl sík normálisa körüli forgatásként értelmezhető. Amennyiben polikristályos az anyagunk, ugyan ezen paraméterekkel jellemezhető valamennyi szemcséje. Ezen értelmezés szerint elviekben egy polikristályos anyag valamennyi kristályának orientációja megadható a $T^*(\alpha, \beta, \gamma, hkl)$ sűrűségfüggvénnyel. Azonban a gyakorlatban megvalósítható mérés technikákkal ezen értelmezés kiegészítésre szorul. Nem véletlen az, hogy ez a megközelítés a kristály orientációját, annak egy elemi cellájának valamely síkjával és annak normálisával jellemzi. Azonban a gyakorlati mérés technikával csak az α és β szögek határozhatók meg, a γ szög szerinti elfordulás egy bizonytalanságként jelentkezik. Így azonban, a $T^*(\alpha, \beta, \gamma, hkl)$ függvény szerinti ábrázolási mód nem alkalmazható. Helyette $T^*(\alpha, \beta, hkl)$ ábrázolási módot választhatunk, ami egy fél-quantitatív textúra jellemzés, az így kapott függvényünk pedig a pólusábra, mely a mérnöki gyakorlatban talán a leggyakrabban alkalmazott textúra jellemzési mód. A 6. ábra a hengerelt és az újrakristályosodott alumínium lemez $\{200\}$ síksorozatáról készült pólusábráját mutatja.



6. ábra: Alumínium $\{200\}$ pólusábrák a) hengerlés után b) lágýtás után

Textúra vizsgálatnál a sugármenet és a síksorozat normálisa egymáshoz képest szintén elmozdul vizsgálat közben (döntések és forgatások szükségesek) innét jött az ötlet, hogy a maradó feszültség vizsgálatra kifejlesztett központ nélküli röntgendiffraktométereket textúra vizsgálatra használjuk, kihasználva azt az előnyt, hogy nem kell a mintát darabolni, roncsolni, így pólusábra roncsolásmentesen is meghatározható. Ahhoz, hogy ezt megtehesük meg kellett határozni azt a mozgáspályát amivel ugyanazon síksorozatok eloszlását tudjuk meghatározni mint konvencionális diffraktométerrel. Ezeket a translációs összefüggéseket meghatároztuk, a módszert validáltuk és szabadalomra benyújtottuk. (12)

Vizsgálati eredmények

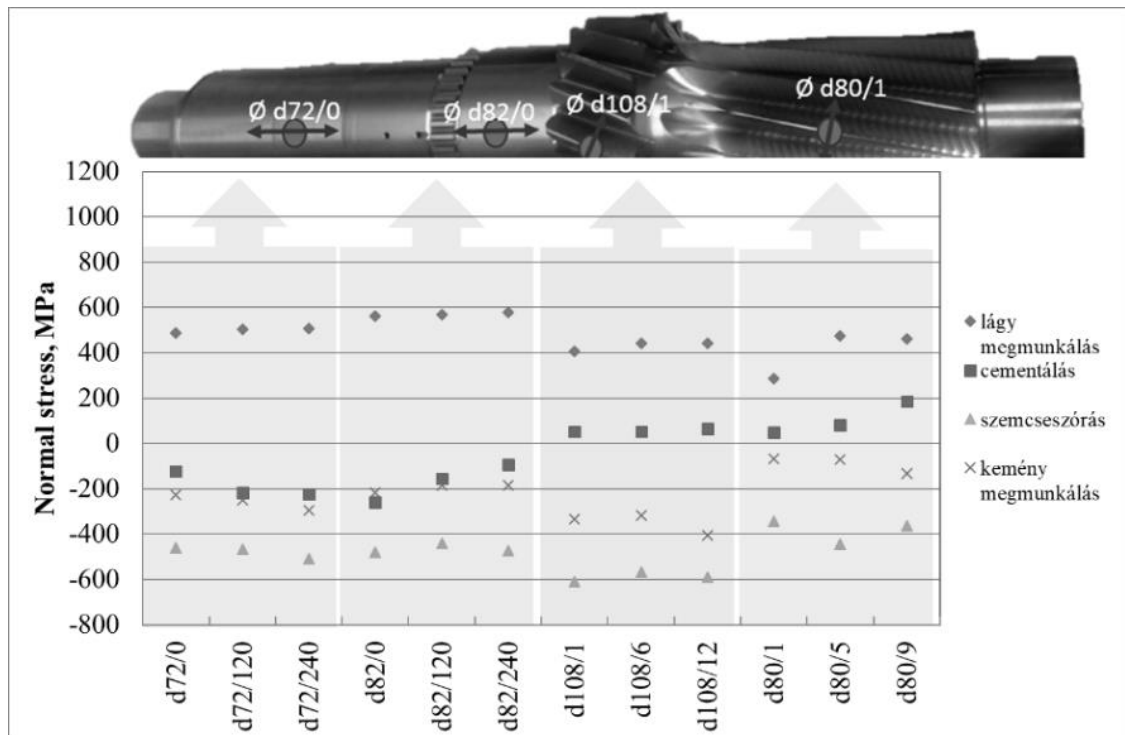
Maradó feszültség monitorozása

Jelen kéziratunkban a maradó feszültség vizsgálatra egy olyan mérőszorozaton mutatjuk be ahol a járműipari alkatrész gyártásközi monitorozása történt. Az alkatrész egy 20MnCr5 minőségi acélból készült előtét tengely. A tengely felületi maradó feszültségét 12 kritikus pontban, lágymegmunkálás, hőkezelés, szemcseszórás és kemény megmunkált követően mértük meg ugyanazon alkatrészben. A 7. ábra mutatja a vizsgálati helyeket és a mért feszültség irányát. Az alkatrész 4 különböző átmérőjű részen (72, 82, 108, 80 mm), és az adott átmérőjű részen a kerület mentén 3 helyen (0, 120, 240) történt mérés. (13)



7. ábra: Előtét tengely felületén mért maradó feszültség mérési helyek és a meghatározott feszültség iránya

A maradó feszültség mérésénél a következő paramétereket alkalmaztuk: Cr röntgenszó, 25 KV gyorsítófeszültség, 6 mA fűtőáram, 0,8 mm kollimátorméret, 4/4-es döntési pozíció és 12-45 másodperces gyűjtési idő.



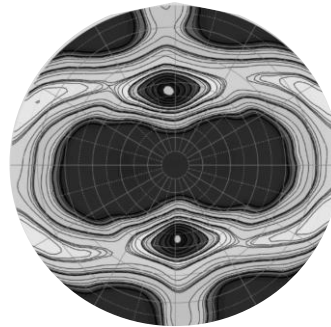
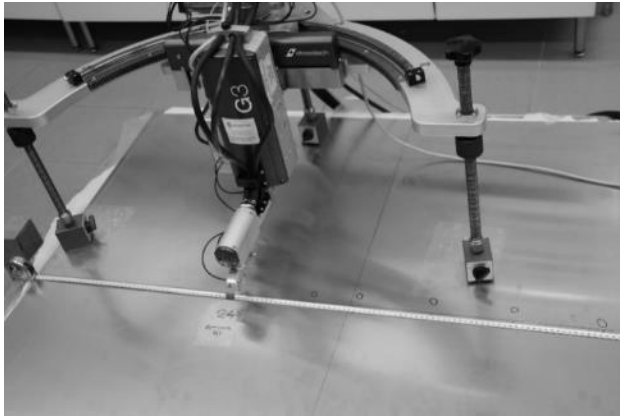
8. ábra: Előtét tengely felületén mért maradó feszültség értékek

A mérési eredmények szerint (8.ábra) az alkatrész felületén a kerület mentén jellemzően azonos feszültség értékeket mértünk, így kerületmenti feszültség aszimmetria nem volt jellemző. A különböző átmérőjű részek eltérő feszültségeket mutattak az egyes állapotok után. Az egyes állapotokat követően a következő megállapításokat tehetjük. A feszültségek értéke széles tartományon belül változott. (-400...+600 MPa). Lágymegmunkálást követően 600 MPa értéket is elérő húzó feszültségek voltak mérhetők. A cementálás ezeket a húzó feszültségeket jelentősen lecsökkentette, mint ahogyan ez is a fő célja a hőkezelésnek. Az alkatrész hossz tengelye mentén viszont jelentős (közel 300 MPa) feszültség gradiens volt mérhető, amely nagyon veszélyes a deformációk, jelen esetben az elhajlások kialakulása szempontjából. A szemcse szórás jótékony hatással bírt, egyenletes közel 400 MPa nyomófeszültség állapot uralkodik az egész tengely felületén. A keménymegmunkálás valamelyest csökkenti a nyomófeszültséget és a szórás is nagyobb értékű, de húzófeszültségek nem alakulnak ki. Az alkatrész végállapotában megnyugtató feszültség állapot uralkodik, de ez nagyon megtévesztő, mert nem szabad elfelejteni, hogy a gyártásközi feszültség állapot okozta deformáció amennyiben kialakult az már az alkatrész beépíthetőségét akár meg is akadályozhatja. Azon túl a feszültség állapotba való beavatkozás további deformációk kialakulását okozhatja.

Roncsolás mentes anizotrópia meghatározás

A roncsolás mentes anizotrópia vizsgálatunkat is egy ilyen hidegen hengerelt félkésztermék alumínium lemezen végeztük el, ahol a lemezek darabolása közben, a megbontott feszültség állapotnak köszönhetően történt elmozdulások a daraboló fej sérülését okozták.

Az anizotrópia vizsgálat közben a következő paramétereket alkalmaztuk: Cr röntgenszó, 30 KV gyorsítófeszültség, 8 mA fűtőáram, 5 mm kollimátorméret, OMEGA mód és 3 másodperces gyűjtési idő. A berendezést vizsgálat közben és a meghatározott pólusábrát a 9.ábra mutatja. Ezzel a világon először sikerült röntgendiffrakciós módszerrel roncsolás mentesen pólusábrát meghatározni.



9. ábra: Roncsolásmentes pólusábra meghatározása központ nélküli röntgendiffraktométerrel, a mérés és alakított alumínium {222} pólusábrája

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal NKFIH K119566 projekt és az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Irodalmi hivatkozás

- [1.] **Krawitz, Aaron D.** *Introduction to Diffraction in Materials Science and Engineering*. New York : John Wiley & Sons, 2001.
- [2.] **Dávid, Cseh.** *Maradó feszültség relaxációja fárasztó igénybevétel közben*. Miskolci Egyetem : PhD értekezés, 2018.
- [3.] **Bárczy, Pál és Fuchs, Erik.** *Metallográfia I.*. Budapest : Tankönyvkiadó, 1981.
- [4.] **ASM International.** *Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel*. USA : ASM International, 2002.
- [5.] **Callister, William D.** *Material Science and Engineering, an Introduction*. USA : John Wiley & Sons, 2007.
- [6.] **Raabe, Dirk.** <http://www.dierk-raabe.com/>. [Online] 2016. <http://www.dierk-raabe.com/>.
- [7.] **Kocks, U. F., Tomé, C. N. és Weng, H. R.** *Texture and anisotropy*. UK : Cambridge University Press, 1998.
- [8.] **Engler, Olaf és Randle, Valeria.** *Introduction to texture analysis. hely nélkül.* : CRC Press, 2010.
- [9.] **Suwas, Satyam és Ray, Kumar Ranjit.** *Crystallographic Texture of Materials*. London : Springer-Verlag, 2014.
- [10.] *Overview of Microstructure and Microtexture Development in Grain-oriented Silicon Steel.* **Dorner, Dorothe'e, és mtsai.** 2006., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, old.: 183–186.
- [11.] **Suzuki, Kazutaka, Xinsheng, Huang és Yuasa, Motohiro.** http://www.aist.go.jp/index_en.html. [Online] AIST, 2013. 03 15.
- [12.] **Máté, Sepsi.** *Teljes pólusábra meghatározására alkalmas mérési módszer kidolgozása és anyagtudományi alkalmazása központ nélküli röntgendiffraktométerekre*. Miskolci Egyetem : Szakdolgozat, 2018.
- [13.] **Mária, Saláta.** *Betétedzett előtétengely maradó feszültségállapotának monitorozása*. Miskolci Egyetem : Diploma dolgozat, 2017.

Acélrúd indukciós edzésének kockázati tényezői

Risk factors of induction hardening process of a steel bar

Dr. Koncsik Zsuzsanna¹, Orosz Tamás², Dr. Gáspár Marcell¹, Dr. Kuzsella László¹

Absztrakt

Jelen cikk egy acél tengely indukciós edzési és megeresztési technológiai folyamatainak információtartalmát elemzi. Fő és alcsoportokba sorolva található a technológiát befolyásoló kockázati paraméterek és a hozzájuk tartozó lehetséges ideális/problémás kimenetek. A kockázati paraméterek értékelése három lépcsős: vezető kockázati paraméter, kisebb hatású kockázati paraméter, kockázat nélküli vagy ismeretlen kockázati paraméter.

A kockázati tényezők és a lehetséges folyamat kimenetek elemzése rámutatott, hogy a legmagasabb kockázatot a maximális edzési hőmérséklet paraméter jelenti, míg a legalacsonyabb kockázattal az alapanyag feszültségállapota nevű paraméter rendelkezik.

Az elemzés összegzéseként megállapítható, hogy az indukciós edzési folyamat egy összetett folyamat, amely számos befolyásoló tényezővel rendelkezik. Ezen tényezők egyidejű megfelelő beállítása az optimális kimenet elérése érdekében kizárólag számítógépes szimuláció segítségével lehetséges.

1. Introduction

Induction heating technology has more than one century history. In 1831 the English physicist Michael Faraday discovered the heating of metal by induction. Although for several decades the heat generated by induction was a byproduct, in the mid-1930s the applicability of surface hardening was already known by some scientists and engineers [1.]. In modern industry induction heating, induction hardening process is a popular and effective technology, which can strongly reduce a production time while fulfilling any requirements of the customer. Some of these requirements, and resulting from this also the process requirements, could not possibly have been satisfied 15 or even 10 years ago. Going back in the history a basic knowledge of electromagnetic fields, a calculator, and engineering intuition were all that were available to design an induction heating system. Nowadays in order to provide a successful design for modern induction heating it is necessary to take into account more details of the process [2.].

The reliability of different engineering elements and structures [3.], like induction hardened components is achieved by ensuring the structural integrity [4.], which means „competence for operation in every moment of the lifetime”. The analysis of the integrity [5.] is based on information belonging to loading condition of the element or structure, to properties of engineering materials and their changes due to loading and environment, furthermore to material discontinuities caused by production and/or operation. Resulting from this the structural integrity of a component or structure is an important character during the whole lifetime [6.].

Induction heat treatment is a complex process involving combination of electromagnetic, heat transfer, and metallurgical phenomena with several factors. The main components of an induction heating system are an induction coil, power supply, load-matching station, quenching system and the workpiece itself. Induction coils or inductors are usually designed for specific applications with a wide variety of shapes and sizes. Industrial applications of induction heating can be divided into five groups: heat treating, mass heating, special heating applications, induction melting, and induction welding [2.]. One sub process of heat treatment technologies is the hardening, the main objective of this research work.

The basic aim of this research work is to analyze the main factors of induction hardening process of a steel bar. As the first stage of this study a reference review was planned, to collect the process influencing parameters. Furthermore, the evaluation of this parameters in risk point of view, aimed to predict how the difficulties can be avoided, while a successful hardening can be carried out.

¹ Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet

² SONA BLW Hungary Kft.

2. Process planning for an induction hardening procedure

A very critical process step in the modern mass production of mechanical components is the heat treatment, which influences the final properties of the component in terms of wear resistance, load-bearing capacity, distortion, and residual stress distribution. Owing to several reasons such as its ease of integration in a manufacturing chain, reproducibility, and low cause of distortion, induction surface hardening can be found in modern production chains [7.]. Most often, the process development necessary to integrate this technology in manufacturing chains is based on "trial and error" leading to rather high development costs as well as long development times. Induction hardening process is such a unique surface treatment method, in which not the common time-temperature heat treatment curves will be applied at the process planning method.

According to [8.], [9.] process planning of the induction hardening includes the following different steps:

- analysis of base material and workpiece geometry suitability for the induction;
- hardening process and its technological parameters;
- selection of the hardening method (single shoot, rotation, scanning, rotation with scanning);
- design and fabrication of induction coil (with or without magnetic flux concentrator) and quenching ring;
- selection of the induction heating power supply (power rating, operating frequency, etc.);
- positioning of induction coil and quenching ring and the workpiece;
- specifying of the process parameters:
 - selection of the temperature and time of austenitization (or/and scan speed);
 - selection of the quenchant and parameters of quenching;
- definition of control and measured values and specification of acceptable tolerances (austenitizing temperature, coil current and voltage).

An other reference [10.] which later describes the induction hardening process by electromagnetic, thermal and mechanical models, uses in some meaning more general and in other meaning more technology specified parameters:

- frequency;
- heating time;
- specimen geometry;
- quenching delay.

During induction hardening some of the process and technological parameters are unchangeable, some of them are adjustable, some of them are given e.g. by the customer, by the applied equipment, some are controllable, while some are the results from the above mentioned. Besides that, it is necessary to mention that parameters, that belongs to the group unknown.

It is not easy to consider all this kind of parameters, especially because it is not enough to consider them, but to establish a range for every single parameter. The range which leads the heat treatment to an ideal condition, adequate hardness pattern on the surface, with appropriate surface hardness, microstructure and residual stress condition.

3. Risk factor identification and characterisation

In this section the main risk parameters are collected for a single steel bar, which induction hardening would be carried out by rotation with scanning, and immediate, built-in quenching, followed with a single-shoot induction tempering. The collected risk parameters are divided into five main groups: raw material, machine, heating, quenching, tempering. In every group five different sub-parameter represents the concerning risk factor, see Fig.1.

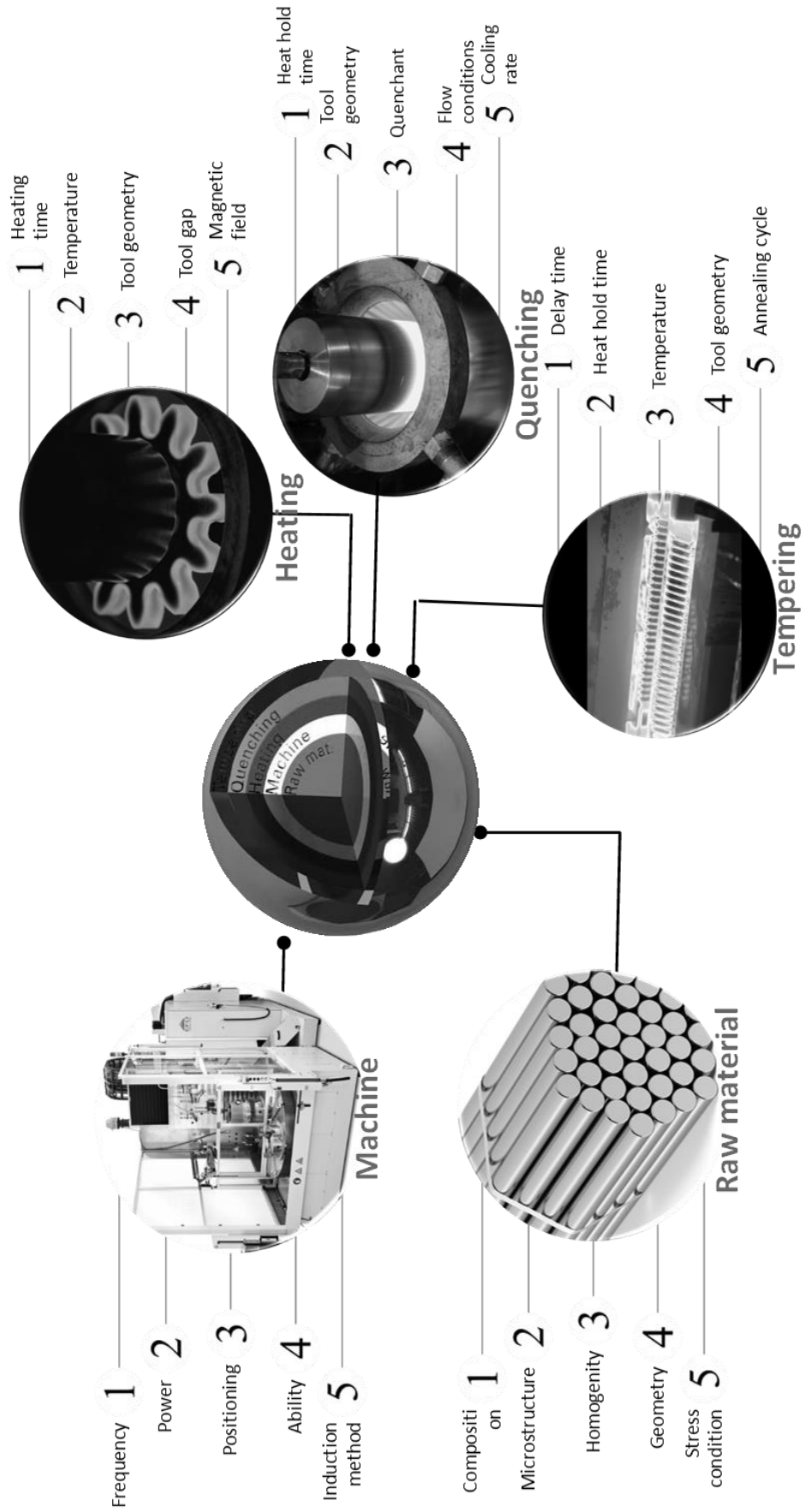


Figure 1: The main process parameters and their possible risk factors

Table 1: Risk analyzes of process parameters concerning the possible process outputs

Risk parameters		Induction hardening outputs / problems							Sum	Ref.
		Surf. hardn.	Hard. depth	Microstr. / gr. coars.	Decarbonisation	Heating burn	Crack	Deformation		
	Composit.	2	2	2	2	0	2	1	11	[2.]
	Microstr.	1	2	2	0	0	x	1	6	
	Homogeneity	1	2	2	0	0	2	1	8	
	Geometry	1	2	1	0	2	2	2	10	[10.][13.]
	Mech. Stress cond.	0	0	0	0	0	2	2	4	
	Frequency	1	2	1	1	1	1	1	8	[10.] [13.][16.]
	Power	2	2	1	1	1	1	2	10	[11.] [13.][16.]
	Positioning	2	2	1	1	2	2	2	12	
	Ability	2	2	1	1	1	2	2	11	
	Induction method	0	1	1	1	1	x	1	5	
	Heating time	0	2	2	2	2	2	2	12	[11.][12.] [13.][15.]
	Temperature	1	2	2	2	2	2	2	13	[2.][12.] [14.]
	Tool geometry	1	2	0	0	2	x	2	7	[2.]
	Tool gap	1	2	2	0	2	x	2	9	[13.][15.]
	Magnetic field	1	2	2	0	0	x	1	6	[9.][10.]
	Heat hold time	1	2	2	2	2	1	2	12	[8.][14.]
	Quench. ring geom.	1	2	2	1	0	2	2	10	[10.]
	Quenchant	1	2	2	0	0	x	1	6	
	Flow cond.	1	2	2	0	0	x	1	6	
	Cooling rate	1	2	2	0	0	2	2	9	[13.]
	Delay time	2	0	1	0	0	2	1	6	
	Temperature	2	1	1	0	0	2	1	7	
	Heat hold time	2	1	1	0	0	2	1	7	
	Tool geometry	1	1	1	0	0	1	1	5	
	Tempering cycle	2	1	1	0	0	x	1	5	
Ref.	[2.] [11.] [12.] [13.]	[2.][8.]][11.] [13.]	[2.][8.][11.]	[2.]	[2.]	[2.] [14.]	[2.] [14.]	[8.][10.] [13.][14.] [17.]		

As a process result, ideal and problematic outputs are mentioned:

- Ideal results: appropriate surface hardness, hardened depth and microstructure – green letters in Table 1.;
- Problems: grain coarsening, decarbonisation, heating burn, crack formation and deformation – red letters in Table 1.

Finally, in the Table 1. the possible process outputs meet the risk factors and their connection can lead to four different results:

- 2: leading risk parameter;
- 1: risk parameters with less effect;
- 0: no risk effect;
- x: unknown risk effect;

Beside these numbers on the right side of the table a sum of risk numbers can be seen, and also the references belonging to different risk factors. Similar to this, references are also available at the bottom of the table, belonging to different process outputs. It is to note, that references are not available to all risk parameters (especially not for induction tempering), as even not to all process outputs types, which makes the consideration more difficult.

Analyzing the risk numbers given to the different risk parameter – process output pairs followings can be concluded:

- in case of the raw material the highest risk belongs to the chemical composition of the base material. In case of induction hardening it means first of all the carbon content, and other alloying elements, which can support induction hardening. Also high risk may be considered in case of geometry, especially if the sample geometry is complicated.
- in case of machine main group, the highest risk belongs to the positioning, how accurate the sample can be positioned in the equipment. To the other parameters, frequency and power there are already calculations available, applying them, the risk of these factors can be reduced to zero.
- in case of heating main group, the highest possible risk belongs to the temperature, the maximum austenitizing temperature, which influences several properties. It has to be noted, that this parameter is not easy to establish during induction heat treatment.
- in case of quenching main group, the highest risk value belongs to the heat holding time, which is influenced also by the coil geometry, the scanning speed, and also by the quenching ring build up.
- in case of induction tempering main group, the maximum temperature, and the heat hold time are the most important risk factors, and also important is the delay time, how fast after quenching tempering is carried out.
- the all over highest risk value stands for the maximum temperature during heating, which means, that the accurate temperature has to be chosen, and also the settings on the equipment must fit the temperature requirements.
- it is interesting, that unknown effects of different risk parameters are only to see for cracking.

4. Conclusion

The paper contains information about one steel bar rotating scan induction hardening's and single-shoot induction tempering's technological and process parameters. In main and sub groups the influencing risk parameters are divided and matched with the possible ideal/problematic process outputs. The risk parameters are evaluate to leading risk parameters, risk parameters with less effect, no risk effect and unknown risk effect. Analyzing the interaction between risk parameters and possible process outputs, the highest risk belongs to the

maximum temperature during the quenching stage, while smallest risk value stands for the raw material mechanical stress condition.

As a conclusion of these reference review it can be stated, that the induction hardening process is a complex process, with several influencing parameters, which optimal application range is only in some cases unequivocal. Therefore, to easier consider every, or at least more influencing risk parameters simultaneously for the process planning, computer simulation is recommended.

References

- [1.] *Encyclopedia of Physics, 2nd ed. VCH, 1991.*
- [2.] Rudnev, V.; Loveless, D.; Cook, R.; Black, M. 2003: *Handbook of Induction Heating, Marcel Dekker, Inc. ISBN: 0-8247-0848-2;*
- [3.] Lukács, J. 2011: *Determination of Plane-Strain Fracture Toughness Using Cracked Round Bar Specimens and their Applicability for Reliability Assessment Calculations; Proc. Eng. 10 2520–2525. doi:10.1016/j.proeng.2011.04.415;*
- [4.] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Harmati, I.; Koritárné, F. R.; Kuzsella, Lné. K. Zs. 2012: *Selected chapters from structural integrity of engineering structures. Ed.: Lukács, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, (In Hungarian.) ISBN 978-963-358-000-4*
- [5.] Lukács, J. 2013: *Integrity Assessment of Power-Plant Structural Elements Using Fracture Mechanics; Mat. Sci. For.; ISSN: 1662-9752, Vol. 729, pp 103-108; doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.729.103 © Trans Tech Publications, Switzerland;*
- [6.] Lukács, J. 2013: *Dimensions of Lifetime Management; Mat. Sci. For., ISSN:1662-9752; Vols. 473-474, pp. 361-368; doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.361 © Trans Tech Publications, Switzerland;*
- [7.] Coupard, D.; Palin-luc, T.; Bristiel, P.; Ji, V.; Dumas, C. 2008: *Residual Stresses in Surface Induction Hardening of Steels: Comparison Between Experiment and Simulation, Mater. Sci. Eng., A, 487 (1–2), p 328–339*
- [8.] Cajner, F.; Smoljan, B.; Landek, D. 2004: *Computer simulation of induction hardening, J. of Mat. Proc. Techn. 157–158 p 55–60.*
- [9.] Cajner, F.; Petrič, B.; Landek, D. 2001: *Computer process planning, in: Proceedings of the Eighth Seminar of IFHTSE, Dubrovnik-Cavtat, September 12–14, pp. 415–422.*
- [10.] Schwenk, M.; Hoffmeister, J.; Schulze, V.: *Experimental Determination of Process Parameters and Material Data for Numerical Modeling of Induction Hardening; J. of Mat. Eng. and Perf., Vol. 22 (7) July 2013, pp.1861-1870*
- [11.] Kochure, P.G.; Nandukar, K.N.: *Application of Taguchi Methodology in Selection of Process Parameters For Induction Hardening of EN8 D Steel, IJMER, Vol.2. Issue 5. pp. 3736-3742*
- [12.] Totik, Y.; Sadeler, R.; Altun, H.; Gavgali, M. 2003: *The effects of Inductional Hardening on Wear Properties of AISI 4140 Steel in dry sliding conditions, Materials and Design 24(1):25-30*
- [13.] Kayacan, M. C.; Colak, O. 2004: *A fuzzy approach for induction hardening parameters selection, Materials and Design 25, pp 155-161.*
- [14.] Rapoport, E.; Pleshivtsheva, Y. 2007: *Optimal controll of induction heating processes, Taylor & Francis Group. ISBN: 0-8493-37*
- [15.] Stich, T.J.; J. K. 2000: *The application of Artificial Neural Networks to Monitoring and Control of an Inducton Hardening Process, J. of Industr. Techn., 16 (1):1-11.*
- [16.] Kaladhar, M.; Subbaiah, K.V.; Srinivasa Rao, Ch.; Rao, K.N. 2011: *Application of Taguchi approach and Utility Conceptin solving the Multi-objective problem when turning AISI 202 Austenitic Stainless Steel, J. of Eng. Sci. And Techn. P 55-61.*
- [17.] Unal, R.; Dean, E.B. 1991: *Taguchi approach to design optimization for quality and cost: An overview, Annual Conf. Of the Int. Soc. Of parametric Analysts, pp 1-9.*

Alakváltozás indukált martenzites átalakulás FeMnCr TWIP acélban

Deformation induced martensitic transformation in FeMnCr TWIP steel

Arjun Kumar Talgotra¹, Dr. Nagy Erzsébet¹, Sepsi Máté¹, Dr. Mertinger Valéria¹

Összefoglalás

Az FeMnCr acélban termomechanikus kezelés során lezajló martenzites átalakulást egy egytengelyű szakítóberendezéssel különböző hőmérsékleteken, különböző alakváltozási sebesség mellett vizsgáltuk. A termomechanikus kezelés segítségével -amennyiben a hőmérséklet és az alakváltozási sebesség megfelelően kontrollált- különösen összetett szövetszerkezet érhető el ebben az acélban, mely állhat feszültség indukált α' és/vagy ε martenzitből és termikusan indukált ε martenzitből. A különböző hőmérsékleteken és alakváltozási sebességek mellett kialakult szerkezeten meghatároztuk a különböző genetikájú martenzitek fázishányadát.

Bevezetés

Az ausztenites acélok egy bizonyos csoportját az autóipar azok különösen nagy kinetikus energia elnyelő képességért alkalmazza a karosszéria gyűrődő zónáiban. Az ausztenites FeMnCr acélok a nagy szakítószilárdság és szívósság mellett jól sajtolhatók, köszönhetően annak, hogy a termikusan és alakváltozás által indukált martenzites átalakulás a hőmérséklettel és alakváltozási sebességgel jól kontrollálható. Ezt szokás TRIP (átalakulás indukált képlékeny alakváltozás) és TWIP (ikresedés indukált képlékeny alakváltozás) hatásnak is nevezni. TWIP acélokban a képlékeny alakváltozás egyszerre történhet a diszlokációs csúszás és az iker képződés mechanizmusának segítségével [1, 2]. Ismeretes, hogy az ausztenites acélok képlékeny alakváltozása során az ausztenit átalakulhat α' martenzitté. Vizsgálatunk során két átalakulási mechanizmust is megfigyelhető volt, az egyik az ausztenit közvetlen átalakulása α' martenzitté. A másik folyamat során két lépcsőben történik az átalakulás, először ausztenitből ε martenzit, majd ε átalakul α' martenzitté. Az ausztenit-martenzit átalakulásának mikéntjét az összetétel és a termomechanikus kezelés paraméterei, azaz a hőmérséklet és alakváltozási idő határozzák meg [3, 4]. Jól szabályozott termomechanikus kezelés segítségével egy komplex mikroszerkezetet hozhatunk létre, mely szerkezetet alkotó fázisokkal és azok hányadának manipulálásával különösen jó mechanikai tulajdonságokat érhetünk el [5, 6, 7, 8].

A múltban számos cikket publikáltak a TWIP/TRIP acélokban végbemenő martenzites átalakulásról, azonban ezen publikációk elsősorban 2 fázisú rendszerekben zajló transzformációval foglalkoztak. Kutató munkánk újdonságtartalma a nagy króm-tartalmú ausztenites FeMnCr TWIP acélokban történő komplex átalakulás működésének a bemutatása. Továbbá célja, hogy a különböző hőmérsékleteken és alakváltozási sebességek mellett kialakult szerkezeteken meghatározzuk a kialakult fázisok mennyiségét.

Kísérleti körülmények

Az ötvözet a TU Bergakademie Freiberg egyetemen állították elő. A vizsgált ötvözet összetételét az 6. táblázat tartalmazza. Az öntött tuskókat meleghengerréssel 10 mm körkeresztmetszetű rudakká hengerelték, mely rudakból történt a körszimmetrikus szakító pálcák kimunkálása. A termomechanikus kezelést megelőzően 1000 °C-on 30 percig ausztenitesítettünk argon védőgázban, majd vízben edzettük. Az $\varepsilon \leftrightarrow \gamma$ átalakuláshoz tartozó hőmérsékleteit a leedzett ötvözetnek DSC (differenciál pásztázó kalorimetria) segítségével határoztuk meg, melyet a 7. táblázat foglal össze.

6. táblázat: Vizsgált ötvözet összetétele, [m/m %]

	C	Mn	Cr	Si	P	S
Acél 1	0.026	17.7	2.26	0.1	0.0051	0.029

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

7. táblázat: Martenzit és ausztenit kezdő és befejező hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

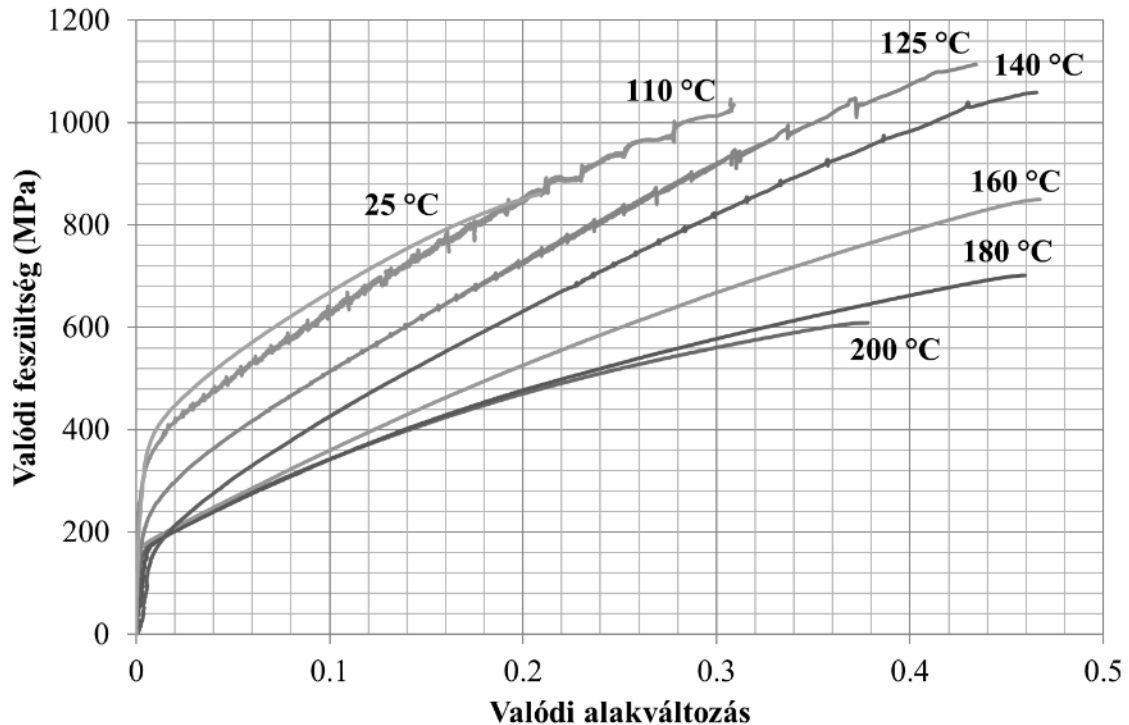
	A_s	A_f	M_s	M_f
Acél 1	194	224	149	121

A termomechanikus kezelést egytengelyű szakító vizsgálatlalt klímakamrában valósítottuk meg (Instron 5982 univerzális szakítógép, 100 kN maximális terhelhetőség) a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet Anyagvizsgáló Laboratóriumában. A mintákat a klímakamrában $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hevítettük homogenizálás céljából a szakítás megelőzően, hogy mintáink tisztán ausztenites állapotba kerüljenek, majd a szakítás kívánt hőmérsékleteire hűtöttük a klíma kamra segítségével ($200; 180; 160; 140; 125; 110; 25\text{ }^{\circ}\text{C}$). A mintákat törésig terheltek, azonban a $125; 140; 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten a szakítást $0,25$ és $0,35$ valódi alakváltozáshoz tartó állapotnál is megszakítottuk. A szakítást követően szakító próbáinkat szobahőmérsékletre hűtöttük, majd fény optikai mikroszkópiára és pásztázó elektron mikroszkópiára munkáltunk ki belőle mintákat az egyenletesen alakváltozott részből. A metallográfiai vizsgálatra csiszolás, polírozást követően Nitállal és Beraha marószerszerrel készítettük elő. A fázisok térfogathányadát a keresztmetszeten röntgendiffrakció teljesprofil illesztés segítségével határoztuk meg.

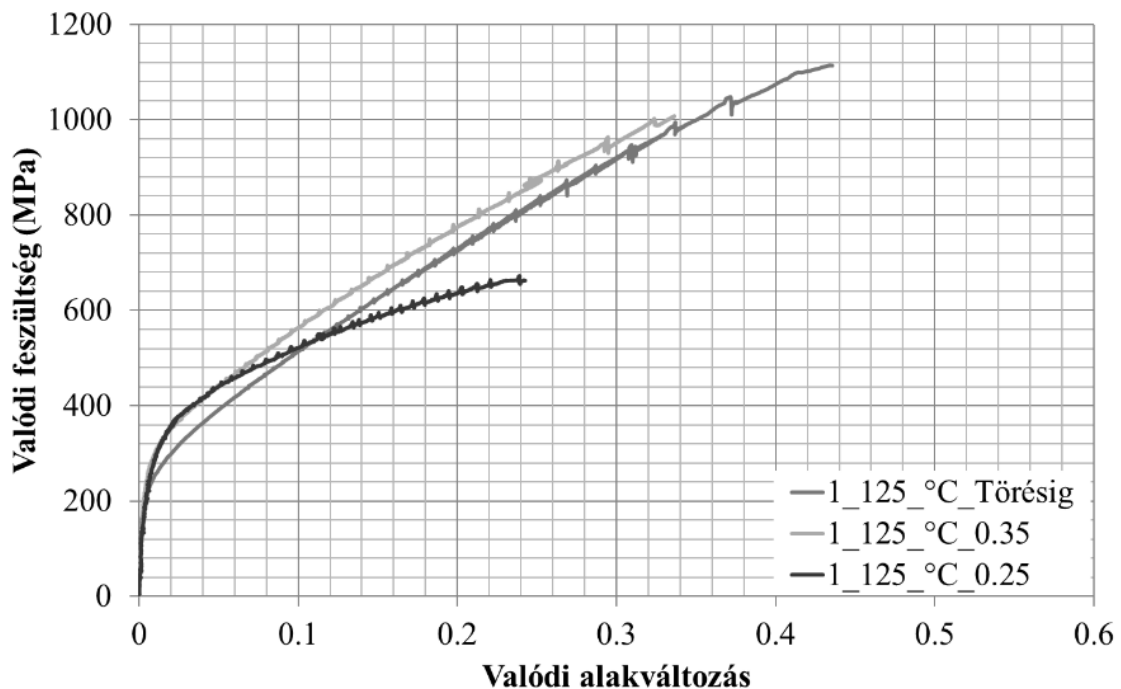
Eredmények

A törésig terhelte minták valódi alakváltozás – valódi feszültség szakító görbéit az **14. ábra** mutatja. Egy határozott csökkenés következik be a szakító szilárdság értékeiben $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett, míg a valódi nyúlás értékek egészen $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig állandónak tekinthetők. $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett a mért valódi alakváltozás is csökken. Továbbá alacsonyabb hőmérsékleten, úgymint szobahőmérséklet és $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ között főként a nyúlás értékekben erőteljes növekedés tapasztalható, ami szintén egy szokatlan viselkedés ezen típusú acélokánál. Hogy tisztázzuk ezen viselkedést, megszakítottuk a szakító vizsgálatokat $125; 140; 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on. Ezen mintákon mért valódi alakváltozás – valódi feszültség diagramokat a **15. ábra 17. ábra** mutatják. A $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on terhelte minták görbéi folytonosságot mutatnak, azonban $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on törésig terhelte mintájáról kapott eredmény nagyban eltér a másik két hőmérséklet törésig végrehajtott vizsgálatok eredményeitől. Egy nagyon erős szilárdság növekedés tapasztalható, mely különböző módú és sorrendiségű átalakulást sejtet. Ha visszatekintünk ezen ötvözet **7. táblázat**ban foglalt átalakulási hőmérsékleteire, arra a következtetésre juthatunk, hogy a M_s hőmérséklet nagyon közel van a vizsgálat hőmérsékletéhez, így a termikusan indukált martenzites átalakulás szintén szerepet játszhat az alakváltozás indukált martenzites átalakulás mellett, így ezek hatása szuperponálódhat. A klíma kamra nagyon kis hőmérséklet inhomogenitás okozhatja ezt a jelenséget. Az M_s hőmérséklet mivel jóval alacsonyabb, mint a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ teszt hőmérséklet, így ezen darabnál már nem kell számolunk a termikus martenzit megjelenésével. A mikroszkópos vizsgálatok nagyon finom szerkezetet mutatnak az **18. ábra- 19. ábra** szerint. Cikk-cakk típusú tűk és ikreket is megfigyelhetünk, a martenzit keletkezésének értelmezése egyszerű a deformáció függvényében, de a különböző martenzitek térfogathányadának meghatározása mikroszkópos vizsgálatokra alapozva nem lehetséges. Amint a különböző hőmérsékleten elvégzett vizsgálatok esetében láthattuk azok különböző nyúlási és szilárdsági értékeket mutattak. Ez egyértelműen a különböző martenzitek jelenlétével és mennyiségével hozható összefüggésbe. Hogy meghatározzuk a különböző martenzitek és fázishányadukat röntgendiffrakciós vizsgálatokat végeztünk. A **20. ábra** mutatja a különböző hőmérsékleten különböző valódi alakváltozás értékig terhelte minták diffraktogramjait, az eredményeket pedig a **21. ábra- 22. ábra** foglalja össze. Ezek szerint az ikerképződés mechanizmusával történő képlékeny alakváltozás és az alakváltozás indukálta martenzites átalakulás egyszerre van jelen az alakváltozás során. A három legnagyobb hőmérsékleteken az ε fázis térfogathányada jóval alacsonyabb a termomechanikus kezelést követően, mint a pusztán edzett darabon, így arra következtetésre juthatunk ezen minták esetében, hogy az ε martenzit a szakítást követő lehülés közben alakul ki, mennyiségük pedig kevesebb, mivel a képlékeny alakváltozás stabilizálta az ausztenit fázist. Ezt az állítást a **17. ábra** támasztja alá, mivel ebben az esetben a képlékeny alakváltozást egyedül az ausztenit fázis szenvedte el, így az átalakulás csak ebben a fázisban játszódott le, ezért a tökéletesen illeszkedő szakító görbék. Az alacsonyabb izotermákon megfigyelhető jelentős különbségek az inhomogén szövetszerkezetre utalnak. Az ε martenzit térfogathányada alacsonyabb hőmérsékleten nagyobb, így az alakváltozás indukálta ε martenzit képződése nyilvánvaló. Korábbi kutatómunkánkban bemutattuk, hogy az α' martenzit csak és kizárólag alakváltozás indukálta átalakulás útján jöhet létre szobahőmérsékleten, mivel annak

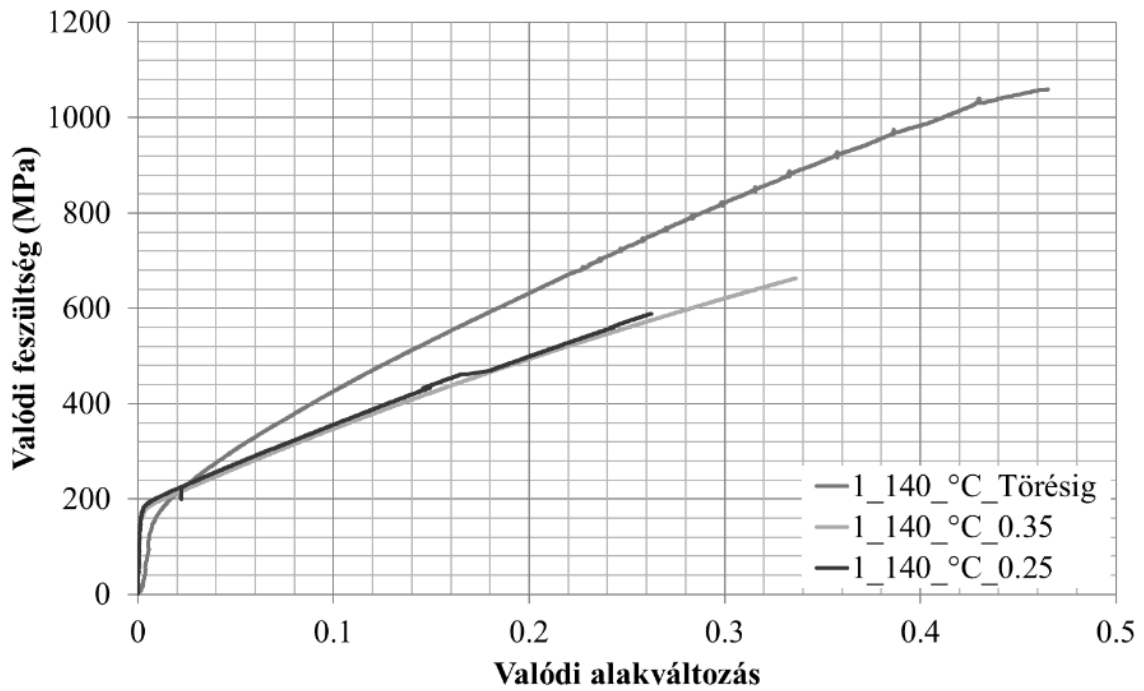
Ms hőmérséklete jóval a szobahőmérséklet alatt van [9, 10]. Ez harmonizál a 125°C-on részlegesen terhelt mintákon kapott XRD eredményekkel, ahol a nagyobb alakváltozás hatására nagyobb az α' martenzit térfogathányada. Kijelenthető, hogy a térfogathányada az ϵ martenzitnak nem változik képlékeny alakváltozás során, és az α' martenzit mennyiségének növekedése az ausztenit fázis kárára történik, ami nem feltétlen magától értetődő mivel az α' fázis az ϵ fázisból is átalakulhat.



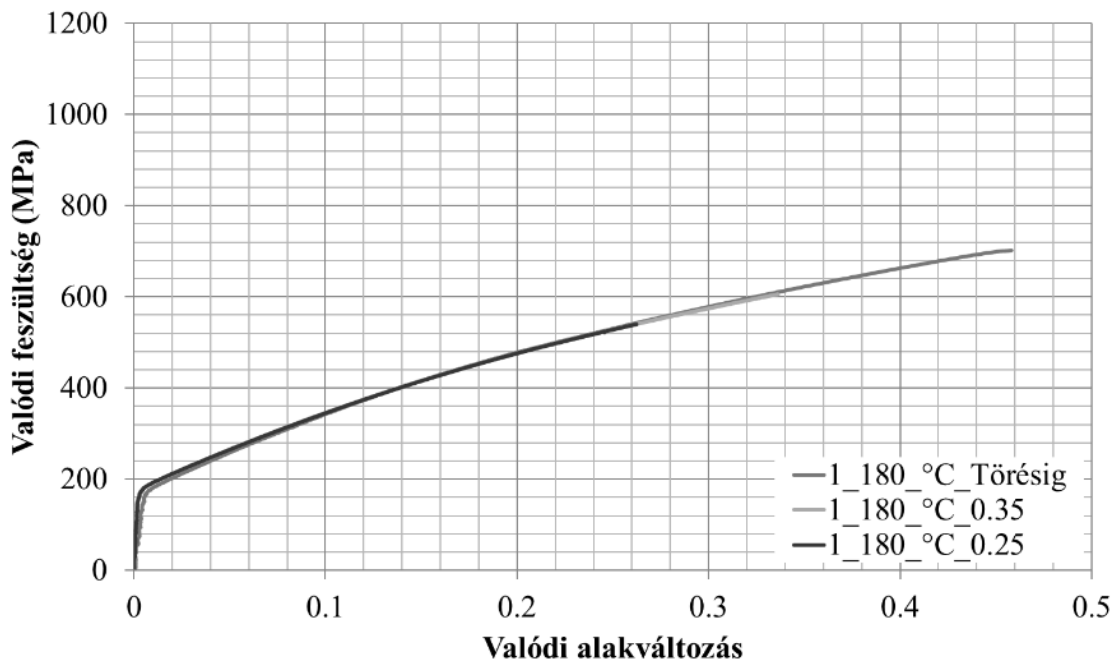
14. ábra: Valódi alakváltozás – valódi feszültség szakító görbéi az Acél 1 összetételű mintáknak különböző hőmérsékleteken törésig terhelve.



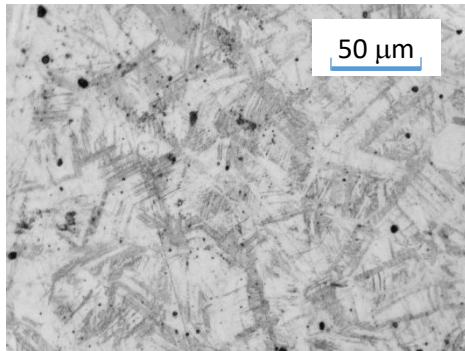
15. ábra: Valódi alakváltozás – valódi feszültség szakító görbéi az Acél 1 összetételű mintáknak 125 °C-on terhelve, két köztes valódi alakváltozási értéken megállított minták, majd törésig terhelt minta



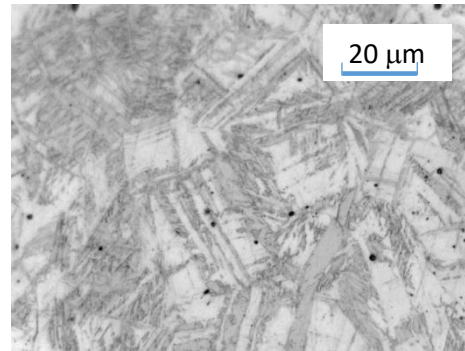
16. ábra: Valódi alakváltozás – valódi feszültség szakító görbéi az Acél 1 összetételű mintáknak 140 °C-on terhelve, két köztes valódi alakváltozási értéken megállított minták, majd törésig terhelt minta



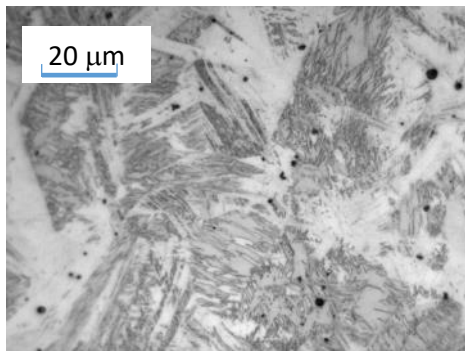
17. ábra: Valódi alakváltozás – valódi feszültség szakító görbéi az Acél 1 összetételű mintáknak 180 °C-on terhelve, két köztes valódi alakváltozási értéken megállított minták, majd törésig terhelt minta



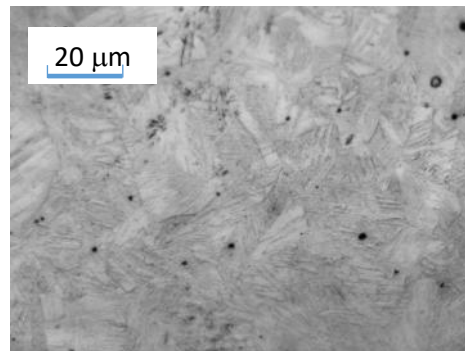
Acél 1: 125 °C-on; 0,25 valódi alakváltozás



Steel 1: 125°C at 0,35 valódi alakváltozás



Acél 1: 140 °C-on; Törésig



Acél 1: 180 °C-on; Törésig

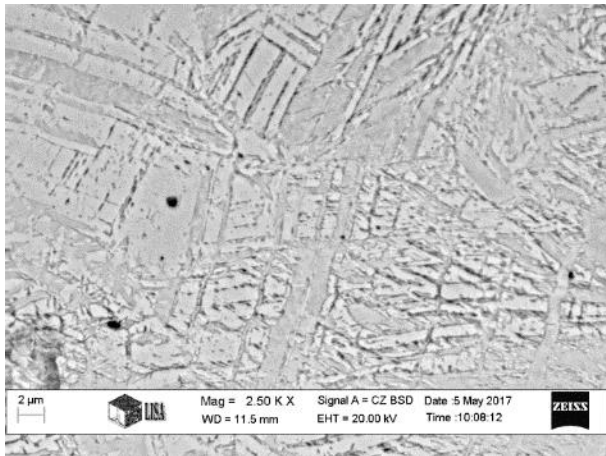
18. ábra: Fény optikai mikroszkópiával készült képek a 125; 140; 180 °C-on terhelt mintákról

Összefoglalás

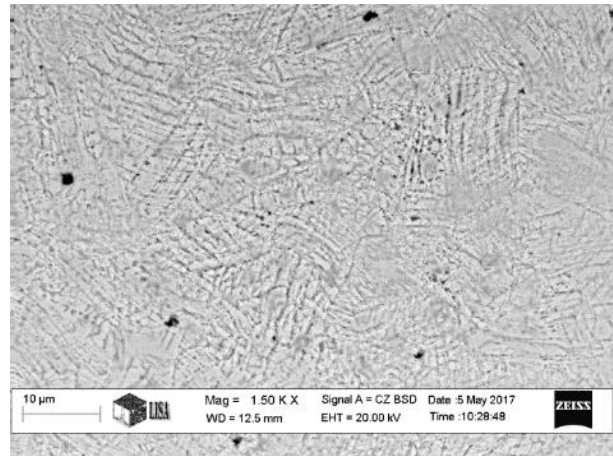
A kutatómunkánkban termomechanikus kezeléssel indukált szilárdfázisú átalakulásokat vizsgáltunk az ausztenites FeMnCr TWIP acélokban. Egytengelyű húzó terhelést alkalmaztunk különböző hőmérsékleteken (15 – 180 °C) különböző alakváltozási mértékek mellett. A kialakult fázisok térfogathányadait röntgendiffrakciós vizsgálattal határoztuk meg a termomechanikus kezelést követően. A kapott eredmények figyelembevételével különböző martenzitek (termikusan vagy alakváltozás indukálta ϵ vagy alakváltozás indukálta α') állapíthatók meg. Az alakváltozás ausztenit stabilizáló hatása szintén megállapítható volt.

Köszönetnyilvánítás

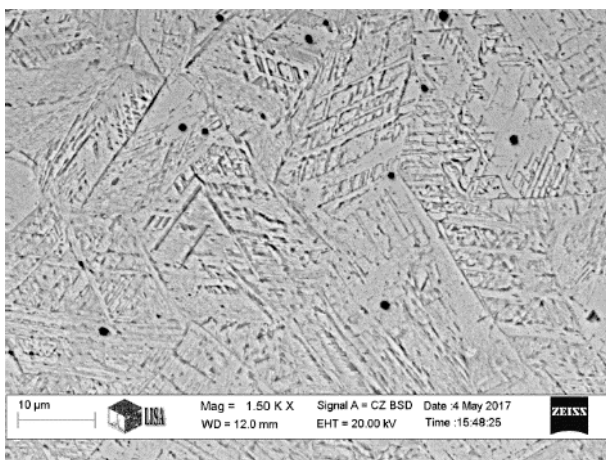
Az ismertetett kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal NKFIH K119566 projekt és az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



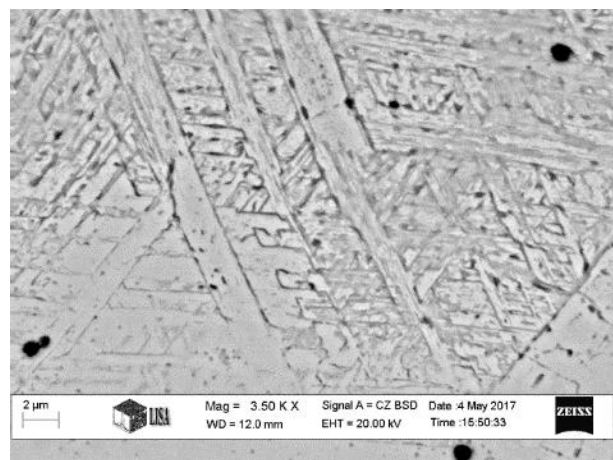
Acél 1: 125 °C-on; 0,35 valódi alakváltozás



Acél 1: 140 °C-on; 0,35 valódi alakváltozás

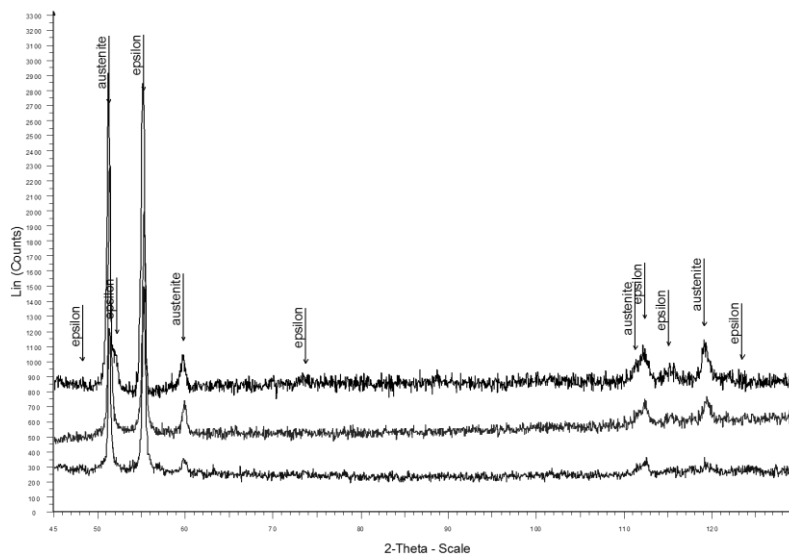
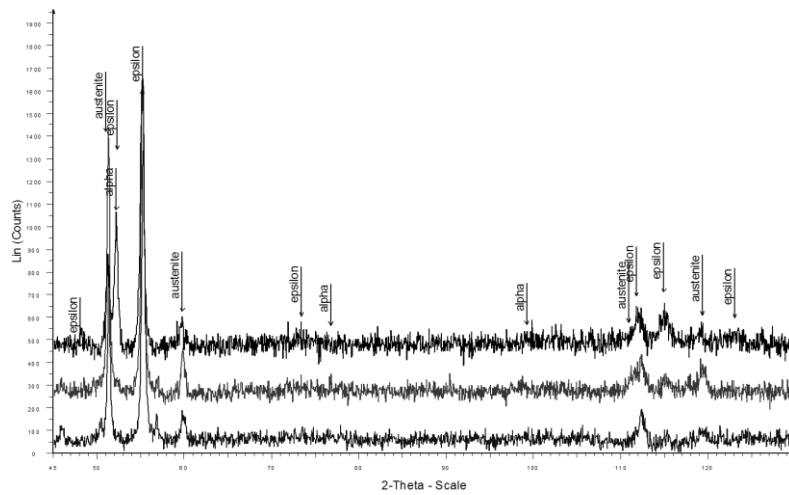
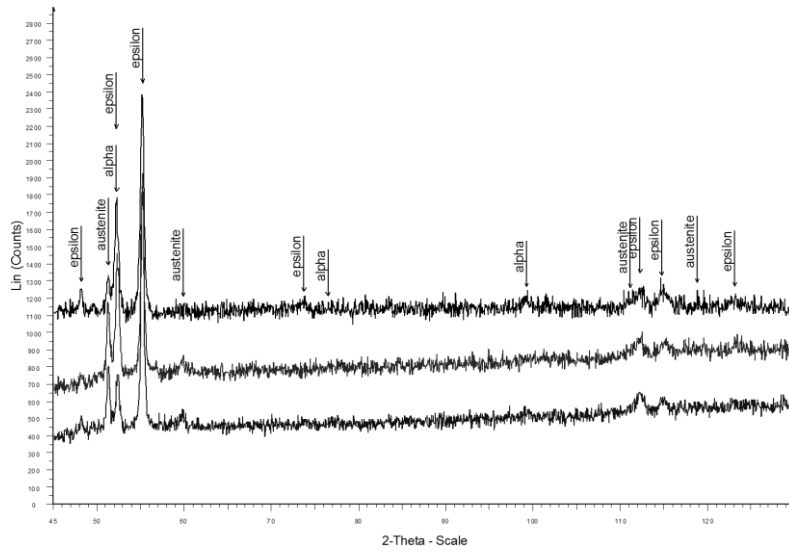


Acél 1: 180 °C-on; 0,35 valódi alakváltozás

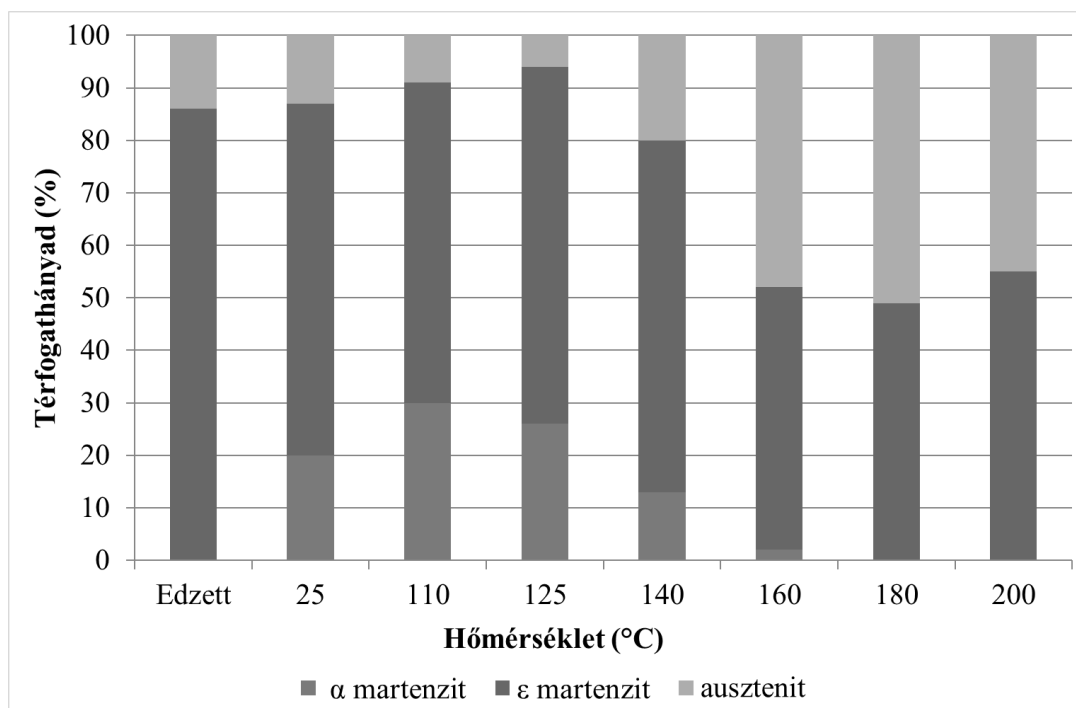


Acél 1: 180 °C-on; 0,35 valódi alakváltozás

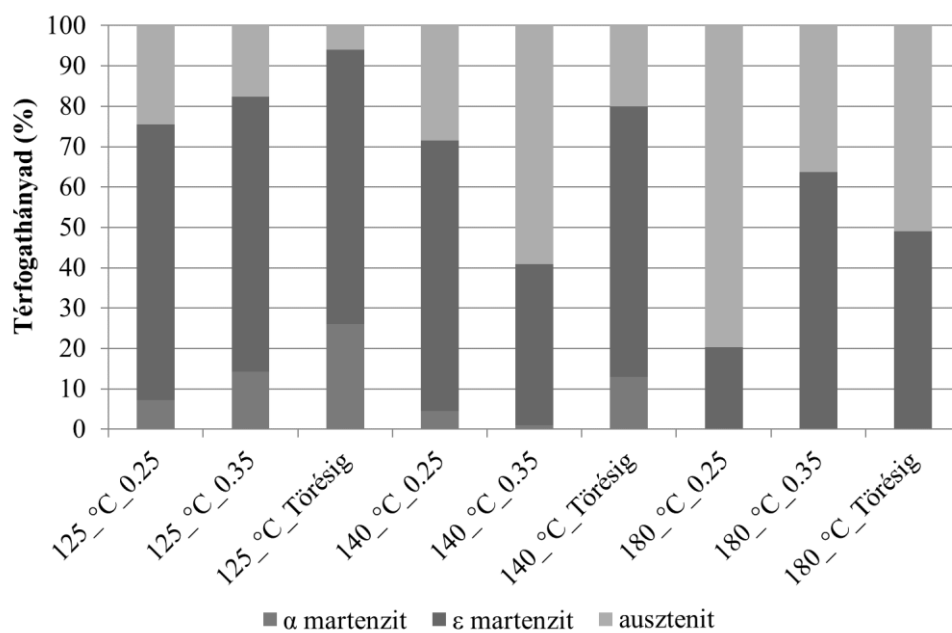
19. ábra: Pásztázó Elektron Mikroszkópiával készült képek, alakváltozás indukálta ikrek a 125; 140; 180 °C-on terhelt mintákon



20. ábra: Röntgen diffraktogramok a különböző hőmérsékleten, különböző valódi alakváltozásig terhelt mintákon



21. ábra: Acél 1 összetételű minták fázis térfogathányadai 125; 140; 180 °C-on törésig terhelve



22. ábra: Acél 1 összetételű minták fázis térfogathányadai 125; 140; 180 °C-on különböző valódi alakváltozásig terhelve

Irodalmi hivatkozás

- [1.] Bhadeshia H, Honeycombe R., 2000 *Steels, Microstructure and Properties (Great Britain: Butterworth-Heinemann)* 229
- [2.] Pla-Ferrand R., Sanches-Caballero S., et al., 2011 *TWIP/TRIP steels. Future trends in automotive industries Fasc. of Manage. and Tech. Eng. NR3*
- [3.] Dash J., Otte H.M., 1963 *Acta Mater.* **11** 1169
- [4.] Han H.N., Lee G.G., et al. 2004 *Acta Mater.* **52** 5203
- [5.] Koyama M., Sawaguchi T., et al. 2011 *Mat. Sci. Eng A* **528** 7310
- [6.] Tang Z.Y., Misra R.D.K., et al., 2015 *Mat. Sci. Eng A* **624** 186
- [7.] Xu S., Ruan D., et al., 2013 *Mat. Sci. Eng A* **573** 132
- [8.] Shterner V., Timokhina I.B., Beladi H.: *On the work-hardening behaviour of a high manganese TWIP steel at different deformation temperatures, Materials Science and Engineering A* 669 (2016) 437-446
- [9.] Mertinger V., Erzsebet Nagy., 2008. *Materials Science and Engineering A* 718-722.
- [10.] Mertinger V., Erzsebet Nagy., 2015 *Materials Science Forum* **812**: 161-166.

CÉGEK ÉS EGYETEMEK JEGYZÉKE LIST OF COMPANIES AND UNIVERSITIES

AICHELIN GmbH, Mödling, **Ausztria**
AKG Alföldi Kohászati és Gépipari Zrt., Orosháza
ANTAL Ipari- és Kereskedelmi Kft., Budapest
ARCONIC-Engineered Product Solutions, Texas, **USA**
ARCONIC-Köfém Kft., Székesfehérvár
ARNOLD HORSCH e.K., Remscheid, **Németország**
AUDI Hungária Zrt., Győr
B&T Service Kft., Budapest
BEBESI Hőkezelő Kft., Székesfehérvár
BEST SURFACE Consulting, Ludwigsburg, **Németország**
BODYCOTE Hungary Hőkezelő Kft., Budapest
BODYCOTE Wärmebehandlung GmbH, Ebersbach, **Németország**
BORSODI MŰHELY Kft., Győr
BUDAI BENEFIT Kft. – BubenLaser, Halásztelek
BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM,
Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest
CODERE SA, Alle, **Svájc**
CSEPELI HŐKEZELŐ Kft., Budapest
CSEPELI SZERSZÁMACÉL Bt., Budapest
CSEPELI SZERSZÁMEDZŐ Kft., Budapest
DELPHI Thermal Hungary Kft., Balassagyarmat
DENSO Gyártó Magyarország Kft., Székesfehérvár
DPT Tanácsadó Kft., AICHELIN Képviselet, Budaörs
EMA Indutec GmbH, Meckesheim, **Németország**
EUROKNIFE Bt., Piliscsaba
EUROTHERM 2000 Kft., Budapest
FÉM-ALK Zrt., Budapest
FIRTH RIXSON Hungária Kft. - ARCONIC AEN, Eger
FLANSCH-TECH KFT., Budapest
FUTURE ENERGY Kft., Budapest
GALIKA Szerszámgépek Kft., Törökbálint
HAUNI Hungária Gépgyártó Kft. Pécs
HEATRONIK Kft., Budapest
HOUGHTON Deutschland GmbH, Dortmund, **Németország**
HOUGHTON, Krakkó, **Lengyelország**

HOUGHTON Magyarország Kft., Budapest
HÓD Industrial Solution Kft., Budaörs
HÓKER Kft., Miskolc
HTV Maros Hőkezelő Kft., Makó
HUNFORTRADE Kft., Diósd
IGS-Kontakt Kft., Budapest
IMAGE-SCIENCE Kft., Nagykovácsi
INDUCTOHEAT Europe GmbH, Reichenbach an der Fils, **Németország**
INOTAL Alumíniumfeldolgozó Zrt., Várpalota
INTERTEST Labortechnikai Bt., Budapest
IPSEN International GmbH, Kleve, **Németország**
ISVH Műszaki Zrt., Budapest
KOVINTRADE Hungary Külkereskedelmi és Szolgáltató Kft., Halásztelek
LAB-EX Laborkereskedelmi Kft., Budapest
LECH-STAHl Veredelung GmbH, Oberndorf, **Németország**
LINAMAR Hungary Zrt., Orosháza
LINDE Gáz Magyarország Zrt., Répcelak, Budapest, Miskolc
MAGYARMET Finomöntöde Kft., Bicske
MESSER Austria GmbH, Gumpoldskirchen, **Ausztria**
MESSER Group GmbH, Krefeld, **Németország**
MESSER Hungarogáz Kft., Budapest
MISKOLCI EGYETEM, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet, Miskolc
MISKOLCI EGYETEM, Fém-tani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc
MOX-Team Kft., Karcag
MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, Budapest
MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Miskolc
MTA-TTK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Budapest
NATON Kft., Tatabánya
NEMAK Győr Alumíniumöntöde Kft., Győr
NEUMANN JÁNOS EGYETEM, Kecskemét
NICRON Kft., Budapest
OERLIKON Balzers Coating Austria GmbH (Kapfenberg) Magyarországi Fióktelepe, Székesfehérvár
ÓBUDAI EGYETEM, Anyag- és Gyártástudományi Intézet, Budapest
ÓBUDAI EGYETEM, SmartLab Tudásközpont, Budapest
P-INVENT Kft., Budapest
PannonPLATIT Kft., Budapest
PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM-MIK, Mérnöki és Smart Technológiák Intézete, Pécs

PLASMATERM Rt., Marosvásárhely, **Románia**

PLATIT AG, Selzach, **Svájc**

RÁBA Futómű Kft., Győr

SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM, Marosvásárhely, **Románia**

SCHUNK CARBON Technology Kft., Csesztreg

SIEMENS Zrt., Budapest

SONA BLW Hungary Kft., Polgár

SURFACE MODIFICATION TECHNOLOGIES Pvt. Ltd., **India**

T.E.T.T. Mérnökiroda Kft., Budapest

TOTAL Lubricants Hungary Kft., Budaörs

TS Magyarország Kft., Budapest

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON, Monterrey, **Mexico**

VÁKUUM Hőkezelő Kft., Kincsesbánya

VOESTALPINE High Performace Metals Hungary Kft., Dunaharaszti

ZF HUNGÁRIA Kft., Eger

A KONFERENCIA RÉSZTVEVŐI LIST OF PARTICIPANTS

Antal Péter

ANTAL Ipari- és Kereskedelmi Kft.
Budapest

Bakk István

Kovintrade Hungary Kft.
Halásztelek

Barabás Zsolt

Siemens Zrt.
Budapest

Bebesi Attila

Bebesi Hőkezelő Kft.
Székesfehérvár

Benke Márton Dr.

Miskolci Egyetem
Miskolc

Berezki Péter Dr.

Arconic-Köfém Kft.
Székesfehérvár

Borbás Zsolt

Siemens Zrt.
Budapest

Boros László Dr.

IPSEN képviselő, EURO THERM 2000 Kft.
Budapest

Bubonyi Tamás

Miskolci Egyetem
Miskolc

Cser Rita

Rába Futómű Kft.
Győr

Csikesz Norbert

Denso Gyártó Magyarország Kft.
Székesfehérvár

Csörgits Imre

Audi Hungária Zrt.
Győr

Csurbakova Tatjana Dr.

Székesfehérvár

Darnóvári Zalán Pál

ZF Hungária Kft.
Eger

Debreceni Attila

Hunfortrade Kft.
Diósd

Diószeghy Zoltán

AICHELIN Képviselő, DPT Kft.
Budaörs

Dobránszky János Dr.

MTA-BME Kompozittechnológiai
Kutatócsoport
Budapest

Fábián Enikő Réka Dr.

Óbudai Egyetem
Budapest

Farkas Árpád

Inductoheat Europe GmbH,
Reichenbach an der Fils, Németország

Fazekas Péter

TS Magyarország Kft.
Budapest

Fehér Jánosné Dr.

Arconic-Köfém Kft.
Székesfehérvár

Ferenci Norbert

Messer Hungarogáz Kft.
Budapest

Fried Zoltán

Óbudai Egyetem
Budapest

Friedrich Zoltán

Inotal Alumíniumfeldolgozó Zrt.
Várpalota

Gácsi Zoltán Prof.

Miskolci Egyetem
Miskolc

Galavics Imre

Csepeli Szerszámedző Kft.
Budapest

Garcia Jimenez Marcos

Ipsen International GmbH
Kleve, Németország

Göbolyös László

Euroknife Bt.
Piliscsaba

Gyenizse Gábor

Arconic-Köfém Kft.
Székesfehérvár

Gyökér Zoltán Dávid

Miskolci Egyetem
Miskolc

Hanyecz Imre

Budapest

Horváth Gergely

Arconic-Köfém Kft.
Székesfehérvár

Howard David

Codere SA
Alle, Svájc

ifj. Rábel György

PannonPlatit Kft.
Budapest

Juhász Gyula

TS Magyarország Kft.
Budapest

Jurecska Tamás

Arconic-Köfém Kft.
Székesfehérvár

Kajtár Péter

HTV Maros Hőkezelő Kft.
Makó

Káldy Soma

Budai Benefit Kft. - BuBenLaser
Halásztelek

Káplár Gyula

B&T Service Kft
Budapest

Kárpáti Viktor

Miskolci Egyetem
Miskolc

Kemény Alexandra

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem
Budapest

Kerepesi Éva

Audi Hungária Zrt.
Győr

Kiss-Pál László

ZF Hungária Kft.
Eger

Kovács Dorina

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem
Budapest

Kovács Zsolt

ISVH Műszaki Zrt.
Budapest

Kozdron Sebastian

Houghton
Krakkó, Lengyelország

Kummer Zoltán

Vákuum Kft.
Kincsesbánya

Kuzsella László Dr.

Miskolci Egyetem
Miskolc

Ligenza Aleksandra

Houghton
Krakkó, Lengyelország

Luczai Norbert

Voestalpine High Performance Metals
Hungary Kft.
Dunaharaszti

Magyar Norbert

Borsodi Műhely Kft.
Győr

Mende Tamás Dr.

Miskolci Egyetem
Miskolc

Mertinger Valéria Prof.

Miskolci Egyetem
Miskolc

Miskolczi István

Voestalpine High Performance Metals
Hungary Kft.
Dunaharaszti

Murányi Ferenc

ISVH Műszaki Zrt.
Budapest

Nagy Csaba

Arconic-Köfém Kft.
Székesfehérvár

Németh Attila

Hauni Hungaria Gépgyártó Kft.
Pécs

Nyóger Zoltán

Audi Hungária Zrt.
Győr

Orosz Tamás István

SONA BLW Hungary
Polgár

Páhy Eszter

Inotal Alumíniumfeldolgozó Zrt.
Várpalota

Pálfi Géza

IGS-Kontakt Kft.
Budapest

Pártl Ferenc

Magyarmet Finomöntöde Kft.
Bicske

Pesti István

P-INVENT Kft.
Budapest

Petik Viktor

Siemens Zrt.
Budapest

Pezenhoffer Balázs

Houghton Magyarország Kft.
Budapest

Rábel György

PannonPlatit Kft.
Budapest

Restás Tibor

Nicron Kft.
Budapest

Rideg Lajos

Vákuum Kft.
Kincsesbánya

Rozsnyai Attila

Budai Benefit Kft. - BuBenLaser
Halásztelek

Ruzsa Roland

Audi Hungária Zrt.
Győr

Sályi Zsolt

Miskolci Egyetem
Miskolc

Schmidt Hans-Peter

Messer Group GmbH
Krefeld, Németország

Schön Mátyás

Csepeli Szerszámedző Kft.
Budapest

Schweitzer Bence

Miskolci Egyetem
Miskolc

Sepsi Máté
Miskolci Egyetem
Miskolc

Somogyi János
Csepeli Szerszámedző Kft.
Budapest

Stoll Krisztián
Firth Rixson Hungária Kft. - Arconic AEN
Eger

Szabo Andreas Dr.
Best Surface Consulting
Ludwigsburg, Németország

Szabó Gábor
Galika Szerszámgépek Kft.
Törökbálint

Szántó László
Bodycote Hungary Hőkezelő Kft.
Budapest

Szilágyiné dr. Biró Andrea
Miskolci Egyetem
Miskolc

Tamási Attila
B&T Service Kft
Budapest

Tapasztó Péter
ISVH Műszaki Zrt.
Budapest

Tóth László Dr.
Óbudai Egyetem
Budapest

Tóth Márta
Audi Hungária Zrt.
Győr

Tóth Tamás Dr.
Dunaújváros

Török Antal
Hóker Kft.
Miskolc

Varga Zsolt
Flansch-Tech Kft.
Budapest

Varga-Kiss Nikolett
Voestalpine High Performance Metals
Hungary Kft.
Dunaharaszti

Varju Patrícia Dr.
Image-Science Kft.
Nagykovácsi

Végh Tamás
T.E.T.T. Mérnökiroda Kft.
Budapest

Veres Zsolt Dr.
Miskolci Egyetem
Miskolc

Virágh Zsolt
ANTAL Ipari- és Kereskedelmi Kft.
Budapest

Vönöczky András
PTE-MIK Mérnöki és Smart Technológiák
Intézete
Pécs

Wagendorfer Günter
Messer Austria GmbH.
Gumpoldskirchen, Ausztria

Weltsch Zoltán Dr.
Neumann János Egyetem
Kecskemét

Zabolai Viktor
Denso Gyártó Magyarország Kft.
Székesfehérvár

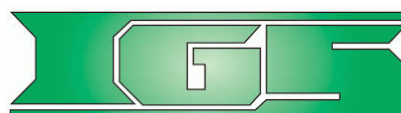
Kiállítók
Exhibitors



B&T Service Kft., Tamási Attila



Codere SA, Svájc, David Howard



IGS Kontakt Kft., Pálfi Géza



Image-Science Kft., Varju Patricia



NICRON Kft., Restás Tibor

Médiatámogatók
Media supporters

