



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:



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 Részrtvevőkkel

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

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 központ nélküli 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.

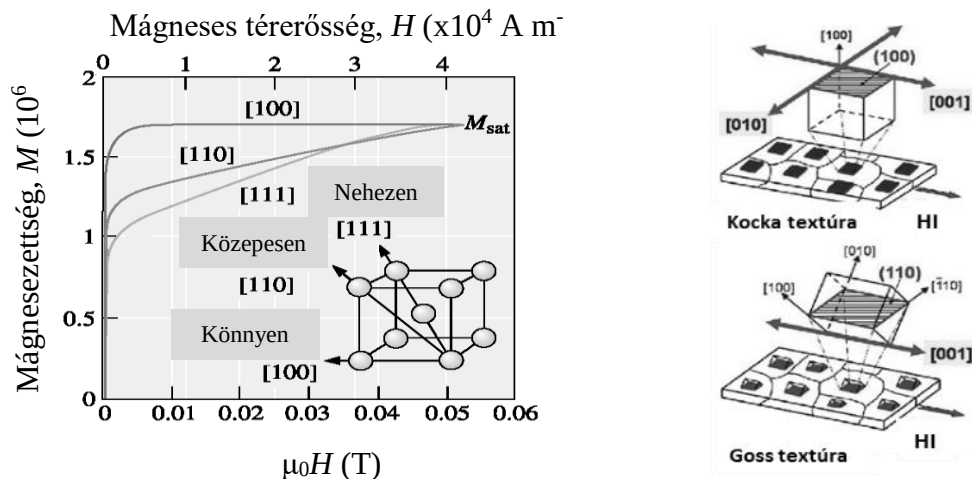
III. rendű vagy szubmikroszkópos feszültségnek nevezzük azokat a feszültségeket, melyek kiterjedésüket tekintve néhány atom átmérő távolságon belül hatnak, s melyeknek oka rendre valamely kristályrácsban belüli rendellenesség: vakancia, intersztíciós vagy szubsztitúciós atom, illetve minden egydimenziós 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 talákoztunk 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.



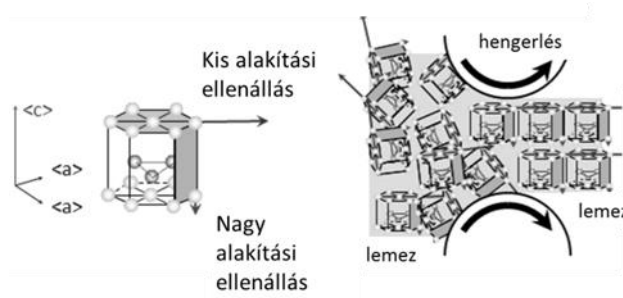
1. ábra: transzformátor lemezek mágnesezési görbéjének függése a kristálytani iránytól (5) és a hozzá tartozó nevezetes Goss és Kocka textúrák (6)

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 csíráképződési 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 fűledést 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 fűledés az alakítási és újrakristályosodási textúra kombinációjával valósíthatjuk meg. Az 1. ábra transzformátor lemezénél mutatott nagy gyakorlati jelentőséggel bíró Goss textúra is melegalakítással hozható létre. Annak 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 „lenyomatokat”, 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 dhkl rácssík távolság változás okozta Bragg szög eltolódását mérjük. Ennek alapján az adott irányú feszültség az $\sin^2\Psi$ módszerrel meghatározható:

$$\sigma = \frac{d_{\Psi} - d_0}{d_0} \frac{E}{(1+\nu)\sin^2\Psi} \quad (1)$$

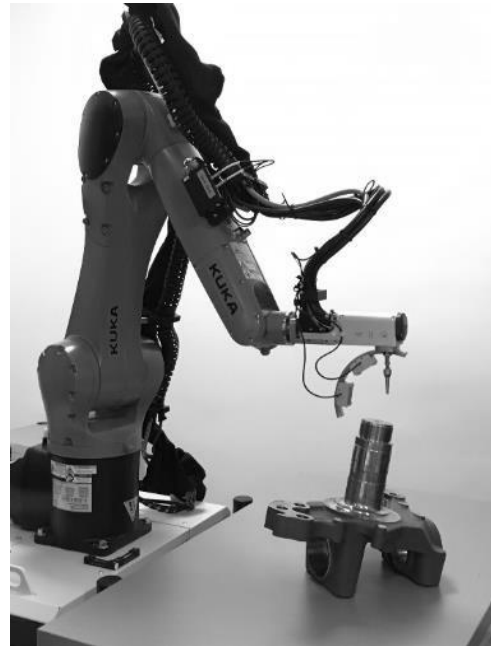
ahol: d az adott Miller indexű síksorozat távolsága (normál $=d_0$) illetve azzal Ψ szöget bezáró irányban (d_{Ψ}), E a rugalmassági modulus ν pedig a Poisson szám. Ez azt jelenti, hogy a rácssíktávolságot legalább két irányból kell mérni. A berendezés egy középpont (centerless) elrendezésű célzottan 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 bölcsővel 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 szögtartomány intenzitás eloszlásának regisztrációja a vonal detektor 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)

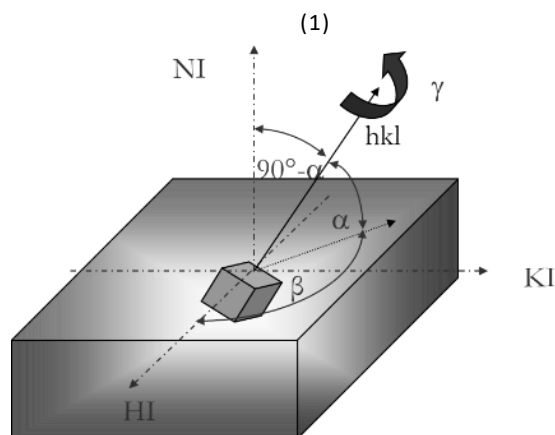


b)

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.

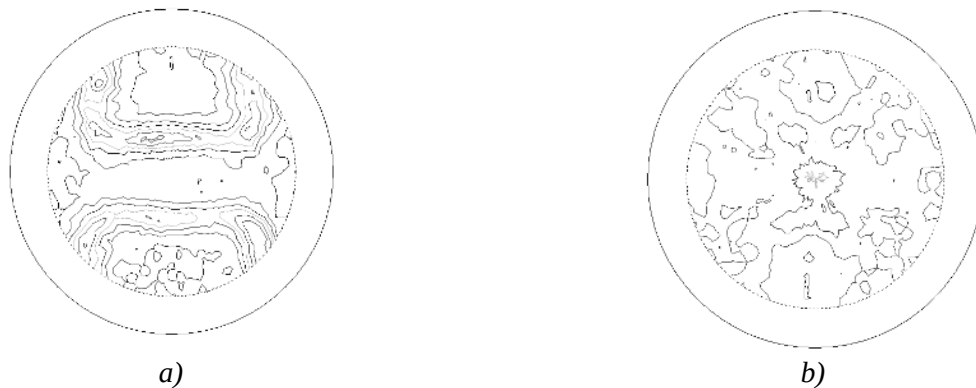
Meg kell határoznunk egy kötött koordináta rendszert, amiben az egyes szemcsék orientációját értelmezni tudjuk. Ezt a koordináta rendszert célszerű a mintához rendelni, mégpedig úgy, hogy a koordináta rendszer tengelyei egybeessenek a minta jellemző irányaival. Így egy hengerelt mintánál értelmezhető hengerlési irány (HI), kereszt irány (KI), és normál irány (NI). Ebben a kötött koordináta rendszerben egy szemcse 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-kvantitatív 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 $\{200\}$ síksorozatról készült pólusábráját mutatja.



6. ábra: Alumínium $\{200\}$ pólusábrák a) hengerlés után b) lágypítés 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

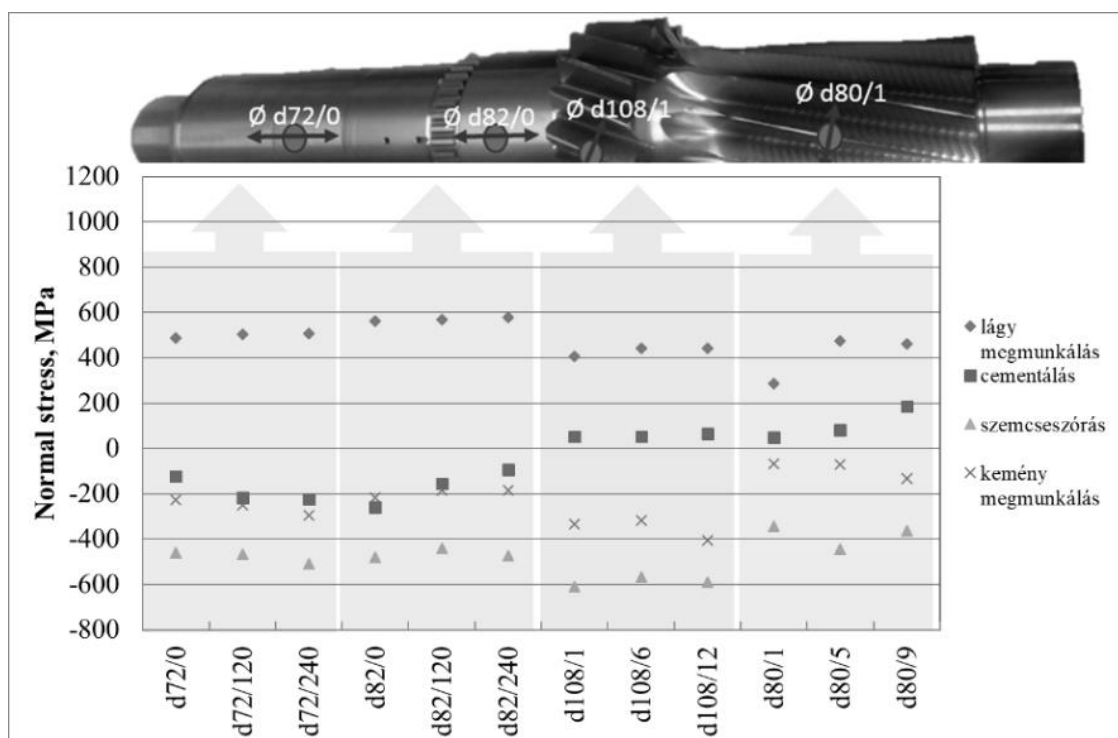
Maradó feszültség monitorozása

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 előtétengely. A tengely felületi maradó feszültségét 12 kritikus pontban, lágymegmunkálás, hőkezelés, szemcseszórás és kemény megmunkált követően mértük meg ugyanazon alkatrészen. 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: Előtétengely felületén mért maradó feszültség mérési helyek és a meghatározott feszültség iránya

A maradó feszültség mérésénél a következő paramétereket alkalmaztuk: Cr röntgenső, 25 KV gyorsítófeszültség, 6 mA fűtőáram, 0,8 mm kollimátorméret, 4/4-es döntési pozíció és 12-45 másodperces gyűjtési idő.



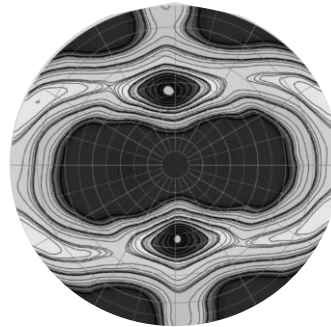
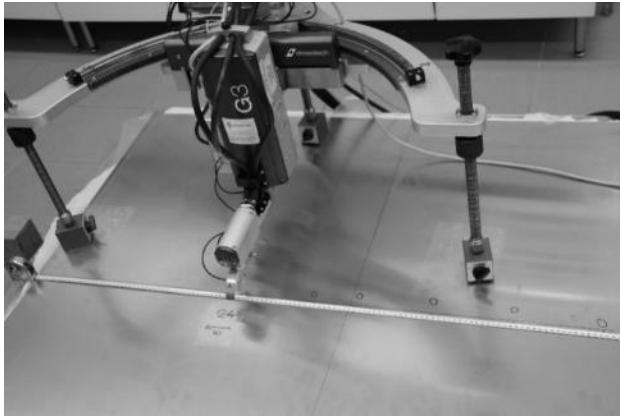
8. ábra: Előtétengely felületén mért maradó feszültség értékek

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). Lágy megmunkálást 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 szemcseszórás 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 feszültségállapot uralkodik, de ez nagyon megtévesztő, mert nem szabad elfelejteni, hogy a gyártásközi feszültségállapot okozta deformáció amennyiben kialakult az már az alkatrész beépíthetőségét akár meg is akadályozhatja. Azon túl a feszültségállapotba 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 feszültségállapotnak köszönhetően történt elmozdulások a daraboló fej sérülését okozták.

Az anizotrópia vizsgálat közben a következő paramétereket alkalmaztuk: Cr röntgenső, 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.** *Betétedezett előtétengely maradó feszültségállapotának monitorozása*. Miskolci Egyetem : Diploma dolgozat, 2017.