

# **ELŐADÁSOK PROCEEDINGS**

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

**BALATONFÜRED  
HOTEL BLAHA LUJZA  
2010. október 06-07-08.**



**24TH HEAT TREATMENT AND MATERIALS SCIENCE FOR  
MECHANICAL ENGINEERING  
NATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION  
WITH FOREIGN PARTICIPANTS  
BALATONFÜRED, HUNGARY  
HOTEL BLAHA LUJZA  
06-07-08 October 2010**

# Szemcseszórás okozta maradó feszültség vizsgálata röntgendiffrakcióval

Cseh Dávid,\* Dr Mertinger Valéria,\*\*  
Sólyom Jenő\*\*\*

## 1. Bevezetés

Az ipari gyakorlatban folyamatos igény van arra, hogy az általunk üzemeltett gépek élettartamát és biztonságos üzemmenetét javítsuk. A különböző felhasználási módok, eltérő igénybevételnek teszik ki az egyes alkatrészeket, mely igénybevételekkel szemben típusuktól függően tudunk védekezni. A szerkezeti anyagokat érő egyik jellemző igénybevétel az ún. fárasztó igénybevétel. A fárasztó igénybevétel nagy ismétlés számú, periodikus ciklikus terhelésként jelenik meg, az adott alkatrész anyagának rugalmassági határa alatt, mely terhelés következményeként, ha az, húzófeszültséget eredményez, a húzott térrészben jelenlévő mikro repedéseket nyitja és terjedésüket segíti az anyagban. Ennek következtében a további terhelés lecsökkent hatásos keresztmetszeten hat, ami végül töréshez vezet.

Szintén problémaként merülhetnek fel a nagykiterjedésű fémes darabokban jelenlévő maradó feszültségek, melyek eredetüket tekintve származhatnak bármilyen nagyhőmérsékletű technológiától, a megmunkálásból, képlékenyalakításból. Ezek a feszültségek a darabban egyensúlyt tartanak egymással, veszélyt akkor jelenthetnek, ha valamilyen módon az egyensúlyi állapotot megbontjuk, ekkor relaxációjuk közben a darab deformációját okozhatják, vagy a darabot érő terhelésekkel összeadódva, átléphetik a folyáshatárt és a darab ebben az esetben is deformációt szenvedhet [2,3,4,5,6,8].

Az első problémára megoldást jelenthet, ha az ismétlődő húzó igénybevételnek kitett darabokban, szabályozott technológiai körülmények között, direkt maradó nyomó feszültség állapotot hozunk létre a felszín közeli rétegekben, mely az itt ható húzó igénybevétel káros hatását csökkenti.

Direkt maradó feszültség létrehozására alkalmas például az eleinte revétlenítésre használt szemcseszórás, mely során a darabokra nagy sebességgel, nagy számban, kisméretű kemény szemcsét röpitünk, melyek a darab felületébe csapódva kinetikus energiájuk egy részét átadják a darabnak, amiben maradó rugalmas nyomó feszültség ébred [1,7,9].

Vizsgálataink célja annak felderítése milyen hatással van a hőkezeltégi állapot, a szemcseszórást követően kialakuló felületi, illetve felszín alatti rétegekben ébredő feszültség állapotra. A vizsgálataink tárgya a Rába Futómű Kft által kovácsolással és nemesítéssel előállított tengely alapanyaga. Feltételezéseink szerint a szemcseszórás, mint befejező technológiai művelet eredménye, vagyis a maradó feszültség mértéke és eloszlásának jellege a nemesítésen átesett alapanyag állapotától függ. Vizsgálataink során konkrétan a dekarbonizálódott rétegvastagság hatásával foglalkoztunk. Mintáinkat a Rába Futómű Kft állította elő, a technológiában szokásos szemcseszórást alkalmazva különböző hőkezeltégi mintákon. A feszültség mérését Auler bölcsővel rendelkező Bruker D8 Advance diffraktométerrel a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetében végeztük el.

## 1. 2. Maradó feszültség meghatározásának elve röntgendiffrakciós módszerrel.

A maradó nyomó feszültség az anyagban olyan módon jelentkezik, hogy a fémes rácsot alkotó fématom törzsek közelebb kerülnek egymáshoz, mely elmozdulás mértéke arányos az atomok környezetében ható maradó feszültséggel. Ennek mérésére többféle módszer ismeretes, pl.: röntgen ill. neutrondiffrakció, optikai kettősréteg feszültség hatására bekövetkezett változásán, furat deformációján, a mágneses doménszerkezet változásának vizsgálatán, ultrahang terjedési sebességének változásán, alapuló mérési módszer [10,11]. Vizsgálataink során röntgendiffrakciós módszert alkalmaztunk, mely alkalmas kvantitatív mikro és makro feszültség meghatározására is. Ennek a mérési eljárásnak a háttérében az áll, hogy a fémes rács rácspontjainak távolsága nagyságrendileg azonos a röntgensugár hullámhosszával. Melyből következik, hogy ha röntgennel sugározzuk be az anyagot alkotó rácsot, akkor annak reflexiója a rácsra

\*Miskolci Egyetem MAK-BSc hallgató

\*\*Miskolci Egyetem-ATI egyetemi docens

\*\*\*Miskolci Egyetem-ATI-MTA tud. munkatárs

jellemző helyeken fog maximális erősítést adni, a hullámtörvények alapján. Ismerve valamely anyag feszültségtől mentes rácscára jellemző reflexiójából meghatározott rácssík távolságot, azt összehasonlítva a feszültséggel terhelt anyag rácscsík távolságával a maradó rugalmas feszültség az  $\sin^2\psi$  módszerrel számolható [2,3,12,13,14]. A módszer lényege hogy az 1. ábra szerinti elrendezésben a  $\phi$  irányban ébredő feszültség ( $\sigma_\phi$ ), a normálissal  $\psi$  szöget bezáró irányban ( $d_\psi$ ), illetve a normál- z irányban ( $d_3$ ) meghatározott rácstorzulások megméréseivel számítható:

$$\sigma_\phi = \frac{E}{(1+\nu)\sin^2\psi} \frac{\Delta d}{d} \quad (1)$$

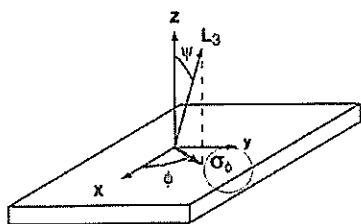
Ahol: E a rugalmassági modulus, MPa;  $\nu$  a Poisson tényező;  $\psi$  a felület normálisával bezárt szög;  $\Delta d/d$  a relatív rácstorzulás:

$$\frac{d_\psi - d_3}{d_3} = \frac{\Delta d}{d} \quad (2)$$

Ahol:  $d_\psi$  és  $d_3$  a Bragg egyenletből meghatározható, ugyanazon Miller indexű síksorozat távolsága a minta normál és  $\psi$  szöggel döntött helyzetben felvett diffraktogramjából:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3)$$

Ahol: n egészszám,  $\lambda$  a röntgensugárzás hullámhossza, d a vizsgált reflexiót adó síksorozat rácscsík távolsága,  $\theta$  a Bragg szög



1. ábra

## 2. Elvégzett vizsgálatok és eredmények

### 2.1. A vizsgálat anyaga

Vizsgálataink tárgya az EN 10083-3 szabvány szerinti 30MnB5 jelű nemesíthető, illetve EN 10204 3.1 (ZF 59) jelű mikroötvözött acélok eltérő hőkezeltségi állapotú mintái voltak. A két szóban forgó ötvözet összetételeit az 1. Táblázat tartalmazza.

A vizsgálataink célja pedig a szemcseiszórással direkt létrehozott felületi, illetve a felület alatt ébredő maradó nyomó feszültség értékek meghatározása az adott mintákon és annak vizsgálata, hogy milyen

hatással van a felület közeli rétegek dekarbonizációja a felület közeli rétegekben ébredő maradó feszültségekre.

Mindkét ötvözetből három állapotú mintát vizsgáltunk. A két ötvözet mintáit szám, ill. betűjellel különböztettük meg. A nemesíthető acél egyes mintáit számokkal, a mikroötvözött acél egyes mintáit pedig betűkkel jelöltük (az eredeti számozást kiváltva a keveredés elkerülése végett). A minták állapota a következő volt:

- ① A **Raba 1** minta esetén nemesítés történt: 840°C-ról, 10%-os polimerben edzve, 510°C-on megeresztve + kémiai marással a felületi réteg eltávolítása + sörétszórás
- ② A **Raba 2** minta háromszor került nemesítésre (lásd fent) így egy mély erősen dekarbonizálódott réteg jött létre+ sörétszórás
- ③ A **Raba 3** minta csak egyszer került nemesítésre + sörétszórás
- ④ A **Raba A** minta egyszer hevítve kovácsolási hőmérsékletre, lapítva + sörétszórás
- ⑤ A **Raba B** minta kétszer hevítve kovácsolási hőmérsékletre, lapítva + sörétszórás
- ⑥ A **Raba C** minta háromszor hevítve kovácsolási hőmérsékletre, lapítva + sörétszórás

### 1. Táblázat

|               | C, %                              | Si, % | Mn, %     | P, %  | S, %  |
|---------------|-----------------------------------|-------|-----------|-------|-------|
| Nemesíthető   | 0,27-0,33                         | 0,4   | 1,15-1,45 | 0,025 | 0,035 |
| Mikroötvözött | 0,36                              | 0,55  | 1,34      | 0,008 | 0,031 |
|               | +Cr Ni, Sn, Al, As, Mo, V, Ti, Nb |       |           |       |       |

### 2.2. Felületi érdesség jellemzése

A vizsgált technológiára, a kifáradási tulajdonságokra és magára a vizsgálati módszerre, a röntgen besugárzás visszaverődésére befolyással bír a darab felületének minősége. Ezért a mintadarabok felület minőségének, felület érdességének jellemzésére is kiterjedtek vizsgálataink. A felületi érdesség szemmel látható módon eltért. A felületi érdesség jellemzésére a darabokat egy vízszintes irányban 0,1mm pontossággal mozgatható tárgyasztalra helyezve a fölöttük rögzített lézeres

letapogatót használtunk. A tárgyasztal 10mm hosszon mozgatható, így 10mm-en mértünk 100 diszkrét ponton felületi mélység adatot a hat különböző minőségű darabon. A felület speciális jellege miatt az érdesség jellemzésére a következő módszer találtam a legmegfelelőbbnek: a mérési pontokra lineáris illesztést végeztünk és meghatároztuk a mérési pontok illesztett görbétől való eltéréseinek négyzetösszegét (a mérési pontok száma azonos volt mind a 6 esetben). Az így kapott statisztikai adatokat tartalmazza. **2. Táblázat.** Mivel a lézeres távolságmérő 30 mm távolságban mér a legpontosabban, ebben a távolságban mértük a felszíni érdességet minden darabon. Emiatt a felületi érdességi görbék egymást keresztezve futnak. A szemléletesség érdekében az adatsorokat egymástól eltolva ábrázoljuk. **(7. ábra)** A nemesíthető darabok esetében az egyes minták között szemel látható az egymáshoz képesti különbség. Ahol nincs dekarbonizálódott réteg ott a szórás kisebb felületi deformációt okoz. A vizuális megfigyelést erősítik a táblázat statisztikai adatai is.

**2. Táblázat**

| Minta | illesztett görbe        | eltérés négyz. összeg, $10^{-3} \text{ mm}^2$ | 1-es mintára viszonyított érdesség |
|-------|-------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|
| 1     | $y = 0,0056x + 29,881$  | 43                                            | 1                                  |
| 2     | $y = 0,0056x + 29,881$  | 302                                           | 7                                  |
| 3     | $y = 0,0099x + 29,939$  | 79                                            | 1,8                                |
| A     | $y = -0,0007x + 30,083$ | 92                                            | 2,1                                |
| B     | $y = -0,0043x + 30,218$ | 127                                           | 2,9                                |
| C     | $y = 0,0061x + 30,359$  | 117                                           | 2,7                                |

### 2.3 Adott vastagságú felületi réteg eltávolítása elektrolitos maratással.

Mivel a Rába egyes vevői, a maradó feszültség értéket, bizonyos mélységben, mint átvételi követelményt írják elő, a feszültség eloszlást a felület alatti mélységben is meghatároztuk.

A maradó feszültség felszín alatti lefutásának meghatározásához olyan módszert kell választani, ami a feszültségállapotot a lehető legkisebb módon változtatja. Ezért az anyagleválasztást elektrolitos módon végeztük el. A felület mélységi marását egy kör alakú kb  $0,5 \text{ cm}^2$  területű részen végeztük, azonos körülmények között: maratási lépcsőnként 60 másodpercig, 60 V feszültségű, átlagosan  $\sim 2,5 \text{ A}$  erősségű áram átfolyása mellett. Egy maratott mintáról készült képet mutat a **2. ábra a) része**.

Ha a maratott területen maratás előtt és után is vettünk felületmélységi adatokat, a kettő különbségéből adódik a lemart rétegek vastagsága, aminek ismerete elengedhetetlen a röntgendiffraktométer fókuszálásához, illetve a hozzájuk tartozó mélységben mért maradó feszültségi adatokkal együtt alkotják a felvetett probléma megoldását.

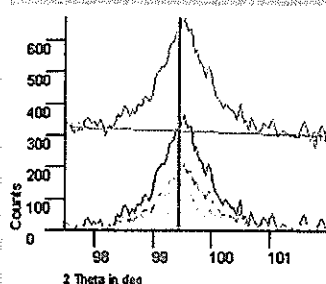
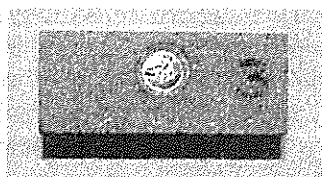
### 2.4. Maradó feszültség meghatározása röntgendiffrakcióval.

A feszültség mérés a következő módon történt:

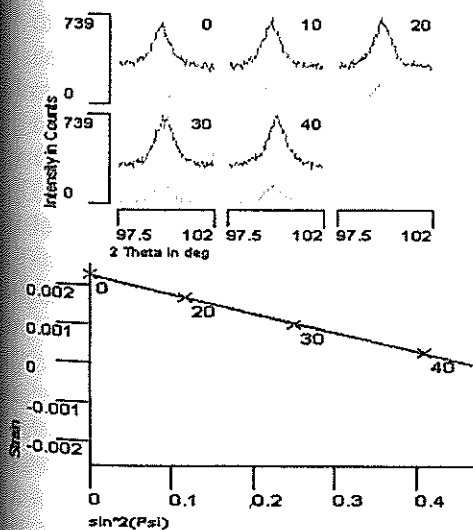
1. Felvettük a minta kiválasztott (211) reflexióját a  $2\theta = 97,5-102^\circ$  szögtartományon,  $\Delta 2\theta = 0,05^\circ$  lépés közzel, lépésenként 20 szekundumos gyűjtési idővel.
2. A rögzített csúcson elvégeztük a szokásos korrekciókat (simítás, háttérleválasztás,  $K\alpha_2$  leválasztás, abszorpció és P-L korrekció). A korrekció egyes lépéseinek az eredményét egy kiválasztott mintán mutatjuk be: **2. ábra b) része**.
3. A súlyponti módszer segítségével meghatároztuk a Bragg szöveget.
4. Ugyanezen módon felvettük a síksorozat reflexióját  $\psi \neq 0$  diffraktométer állásnál, elvégeztük a fenti (2-3-4) lépéseket. Méréseink során  $\psi = 10, 20, 30, 40^\circ$ -os döntési pozíciót alkalmaztunk egy adott helyen fennálló feszültség állapot meghatározásához. Ennek

eredményét mutatja a különböző  $\psi$  értékek mellett a **3. ábra a) része**.

5. Az anyagjellemzők ismeretében ( $E=210000\text{MPa}$ ,  $\nu=0.280$ ,) és a  $\sin^2$  módszer segítségével a különböző döntési pozícióknál ( $\sin^2\psi$ ) meghatározott rácsstorzulás értékekből (strain) grafikusan kiszámoljuk a feszültség értékét, mely a pontokra fektetett egyenes meredeksége (**3. ábra b része**) [13].



**2. ábra a) Raba 3 minta elektrokémiai felületleválasztás után, b) a maradó feszültség méréshez kiválasztott (211) csúcs és a szükséges korrekciók eredménye**



**3. ábra a) a feszültségmérésre  $\psi=10, 20, 30, 40$  állásban felvett (211) illetve korrigált reflexiók, b) a feszültség meghatározása  $\psi$  mérési pontok alapján**

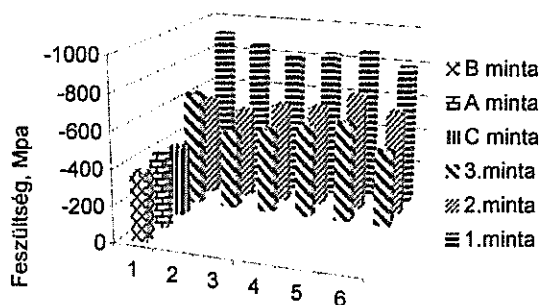
Méréseinket két mérés sorozatban folytattuk. Az első mérési sorozatban csak a

nemesíthető ötvözet eltérő hőkezeltségű mintáit vizsgáltuk. Ebben a mérés sorozatban a vizsgált mintákon öt ponton a felszínen, és két mélységben mértünk maradó feszültséget. A második mérési sorozatban mind a két ötvözet eltérő mintáin egy felszíni és három mélységi feszültség mérést végeztünk. A felszíni feszültség adatokat együtt ábrázolva **4. ábra** azt a megállapítást tehetjük, hogy a második mérési sorozatban kapott felszíni feszültség értékek (6 sorszámú oszlopok) beleillenek az első mérési sorozat eredményeibe.

a)

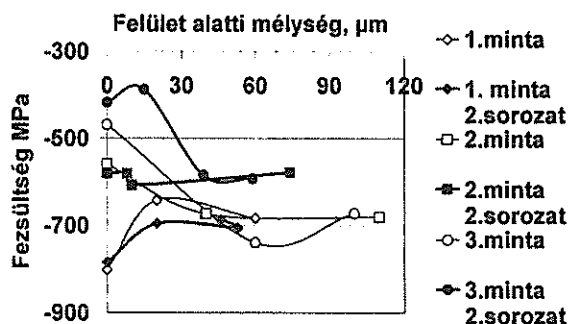
b)

**Felületi feszültség adatok**



**4. ábra**

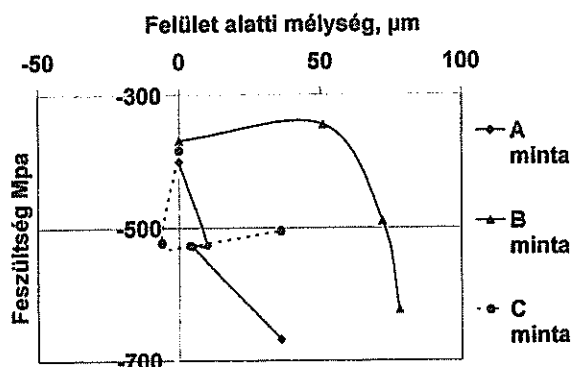
A két mérési sorozat nemesíthető mintákra vonatkozó mélységi feszültség értékeit egy diagramon ábrázolva az egyes minták két mérési sorozatból kapott mélységi feszültség eloszlás görbéi korrelálnak. Megfigyelhető, hogy az 1. mintában, ahol a felületi dekarbonizálódott réteg eltávolításra került nagyobb maradó feszültség ébredt. (**5. ábra**)



**5. ábra Mélységi fesz. adatok Raba 1-3**

A második mérés sorozatban a mikorötvözött mintákon is végeztünk mélységi méréseket ennek eredményeit a mutatja a **6. ábra**. A c mintánál mért negatív mélységet azaz felszín

emelkedést okozhatja a maradó feszültség relaxációja. A maradó feszültség maximális értéke minden esetben a felszín alatt volt mérhető.



6. ábra Mélységi fesz. adatok Rába A-C

### 3. Eredmények értékelése, összefoglalás

A gépgyártás technológiában, különösen a járműiparban a szemcseszórás technológia jelentősége egyre nőtt, illetve szerepe is jelentősen megváltozott az utóbbi időben. Az alkatrészeknek nagysebességű, kisméretű fémszemcsékkel történő megszórása, a felülettisztításon túl, jelentős szerepet játszik a maradó feszültségállapotnak a kialakításában, mely jellemzően a felület alatti nyomó feszültséget jelent, melynek hatására megnő az alkatrész kifáradási határát. Bizonyos vásárlók beszállítás feltételeként szabják a maradó feszültség értékét a felület alatti adott mélységben.

Vizsgálataink célja volt a szemcseszórást megelőző hőkezelési műveletnek, illetve a hatására létrejött szerkezetnek, és a szórást követő feszültségállapotnak az összefüggéseit vizsgálni.

Az említett hőkezelés a gépgyártásban jellemzően a nemesítés vagy betétedzés. A hőkezelési művelet alatt, a kemence atmoszférától függően, jellemzően az alkatrészek felületén káros folyamatok, mint pl. dekarbonizáció, revésedés mehetnek végbe. A dekarbonizálódott felület a nemesítést követően kisebb szilárdságú, ezáltal a szemcseszórás hatására kialakuló feszültségállapot a várttól jelentősen eltérhet. Vizsgálatainkat a Rába Futómű Kft-nél használt 2 féle ötvözet (nemesíthető illetve mikroötvözött), 3 különböző hőkezelési technológián átesett mintáján végeztem el. Azonos módon történő szemcseszórás után

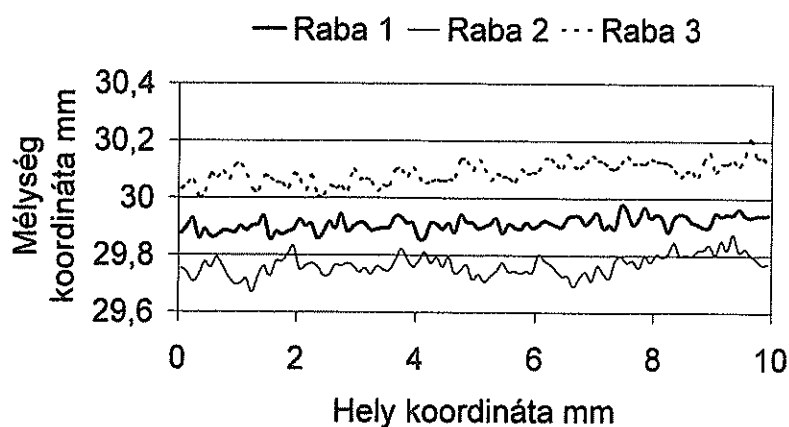
megvizsgáltuk és kvantitatív módon jellemeztük a szórás hatására kialakuló felületi érdeességet. Megállapítottuk, hogy a dekarbonizáció előrehaladtával jelentős különbségek alakulnak ki a szemcseszórt darabokban, az egyenetlenség nő. A kisebb szilárdságú rétegben nagyobb mértékű maradó alakváltozást okoznak a becsapódó szemcsék.

A feszültségállapotot röntgendiffrakciós vizsgálatokkal határoztuk meg a minták felületén és a felület alatti mélységben. Megállapítottuk, hogy a felületi eredmények erős szórást mutatnak, ami a felület minőségével magyarázható. A nemesíthető minták mutattak érdemleges feszültség különbséget. A kémiai elválított dekarbonizációs rétegű minta mutatott a legmagasabb nyomó feszültségértékeket, míg a másik két minta hasonló, de az első mintának csak kb. 60%-át. A magasabb C tartalmú minta folyáshatára nyilván magasabb, így ugyanazon energiájú szemcse nagyobb rugalmas feszültséget a másik minták esetén inkább képlékeny alakváltozást idéz elő. A mikroötvözött minták között érdemi különbség nem mutatható ki, de rendre alacsonyabb a nemesíthető acélok legkisebb értékétől is.

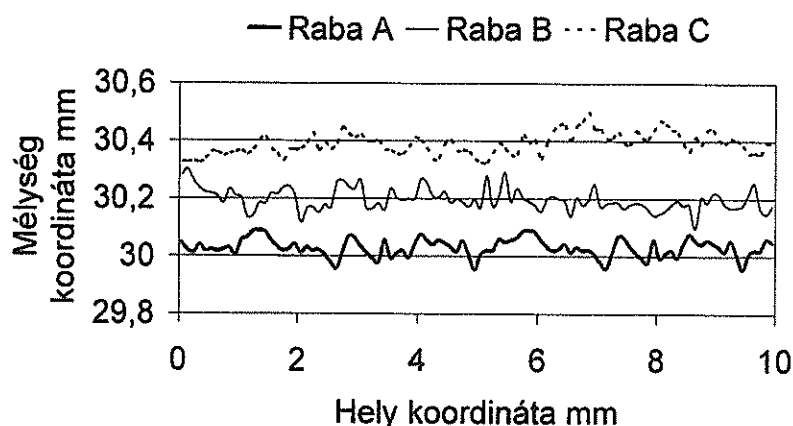
A minták mélységi feszültségeloszlását is vizsgáltuk, hisz a vásárlók előírása is pont erre vonatkozik. A minták anyagválasztását kémiai úton végeztük, egy jól szabályozható elektrolitos polírozó berendezéssel. A felületi minőség a minták oldódási sebességét is erőteljesen befolyásolta. Ez a különböző felületi egyenetlenségből származó eltérő fajlagos felülettel illetve az eltérő feszültségállapottal magyarázható. A felület alatti feszültségeloszlás lefutási jellege eltérő az egyes mintáknál. Érdekes, hogy az 1jelű minta felület alatti nyomó feszültsége csökkenő tendenciát mutat.

Eddigi vizsgálataink alapján mérésekkel bizonyítottuk, hogy a hőkezelés hatására végbemenő kísérőjelenségek (dekarbonizáció, revésedés) erősen befolyásolják a szemcseszórást követő feszültségállapotot. Megállapítottuk, hogy még az erősen dekarbonizálódott nemesíthető acél felületen megvalósuló feszültségtartó képessége is jobb, mint a mikroötvözött acéloké. A legmagasabb nyomó feszültség értéket az 1 jelű minta felületén tudtunk mérni.

### Érdesség a nemesíthető darabokon



### Érdesség a mikorötvözött darabokon



7. ábra

#### 4. Irodalmi hivatkozás

- [1.]Heat treating ASM Handbook Vol. 4, ASM International 1991, USA pp 601-620
- [2.]Dr Bárczy, Dr Fuchs Erik: Metallográfia I, Tankönyvkiadó, Budapest 1981 pp119-126
- [3.]Sólyom Jenő: Maradó feszültség mérése röntgendiffrakciós módszerrel gépalkatrészekben, Tanulmány, Miskolc, 2007, kézirat
- [4.]Krauss: Principles of Heat treatment of steel, ASM Metals Park, Ohio1980 pp 268
- [5.]Valery Rudnev: Handbook of Induction Heating, Library of Congress Cataloging -in-Publication Data, USA 2003 pp:303
- [6.]Cast Irons ASM Specialty Handbook , ASM International 1996, USA pp:48
- [7.]J.R. Davis: Surface hardening of steels, ASM International 2002, USA, pp 79-103
- [8.]R.E. Haimbaugh: Induction Heat Treating, ASM International 2001, USA pp:106-117
- [9.]E. Macherauch and V. Hauk:Residual stress in Science Technology Vol 2,

- Németország pp 697 1987 [10.]P.J.Withers, H.Bhadeshia: Residual Stress Part1-Measurement techniques, Mat Sci ann Technology, April 2001 Vol17 pp: 355-365
- [11.][http://www.jht.bme.hu/publ/borbas/Gepelemek\\_merese\\_.pdf](http://www.jht.bme.hu/publ/borbas/Gepelemek_merese_.pdf)
- [12.]A.D.Krawitz: Introduction to diffraction in materials science and engineering, John Wiley 2001, pp119-143,278-318
- [13.]Bruker D8 Advance user manual
- [14] H.P. Klug, L.E. Alexander: X ray diffraction procedures, John Wiley & Sons, 1974

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Losonczi Mihálynak a Rába Futómű Kft technológusának a minták előállításában nyújtott segítségével, és Dr. Rónaföldi Arnoldnak a lézeres mérőműszer összeállításáért.