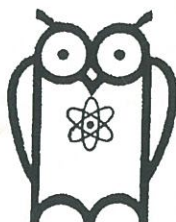


DIÁKTUDOMÁNY

A MISKOLCI EGYETEM TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI MUNKÁIBÓL



2009-2010.



**A tudományos utánpótlás-nevelés és a műszaki, informatikai
életpálya elismertségének növelése a Miskolci Egyetem
stratégiai céljaival összhangban**

TÁMOP-4.2.3-08/1-2008-0007

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai
Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



Nemzeti Fejlesztési Ügynökség

ÚMFT infóvonal: 06 40 638 638
nfu@nfu.gov.hu • www.nfu.hu

Befektetés a jövőbe

Új Magyarország
FEJLESZTÉSI TERV

SZEMCSESZÓRÁS OKOZTA MARADÓ FESZÜLTSG VIZSGÁLATA RÖNTGENDIFFRAKCIÓVAL

Cseh Dávid

Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar

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 lehetséges igénybevétel az ún. fárasztó igénybevétel. A fárasztó igénybevétel nagy ismétlés számú, periodikus 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 kitétt darabokban, szabályozott technológiai körülmények között, direkt maradó nyomó feszültség állapotot hozunk létre a felszín közeli rétegekben, mely az itt ható húzó igénybevétellel szuperponálódva, csökkenti azt. Direkt maradó feszültség létrehozására alkalmas például az eleinte revétenítésre használt szemcseszórás, mely során a darabokra nagy sebességgel, nagy számban, kisméretű kemény szemcsét röpítünk, 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 szemcseszórás 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 szemcseszórás alkalmazva különböző hőkezeltégi mintákon. A feszültség mérését Euler bölcsovel 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 fématomok közelebb kerülnek egymáshoz, mely elmozdulás mértéke arányos az atomok környezetében ható maradó feszültséggel. Ennek mérésére többféle módszer ismeretes, pl.: almen teszt, röntgen ill. neutroindiffrakció, 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 jellemző helyeken fog maximális erősítést adni, a hullámtörvények alapján. Ismerve valamely anyag feszültségtől mentes rácsára jellemző reflexiójából meghatározott rácssíktávolságot, azt összehasonlítva a feszültséggel terhelt anyag rácssíktávolságával 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 ϕ irányban ébredő feszültség (σ_ϕ), a normálissal ψ szöget bezáró irányban (d_ψ), illetve a normál-z irányban(d_3) meghatározott rácstorzulások megméréseivel számítható:

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

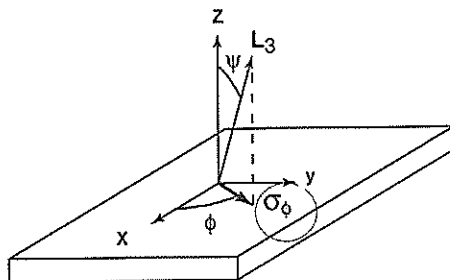
Ahol: E a rugalmassági modulus, MPa; ν a Poisson tényező; ψ a felület normálisával bezárt szög; $\Delta d/d$ a relatív rácstorzulás:

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

Ahol: d_ψ és d_3 , a Bragg egyenletből meghatározható, ugyanazon millerindexű síksorozat távolsága a minta normál és ψ szöggel döntött helyzetben felvett diffraktogramjából:

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

Ahol: n egészszám, λ a röntgensugárzás hullámhossza, d a vizsgált reflexiót adó síksorozat rácssíktávolsága, θ a Bragg szög



1. ábra:

2. Elvégzett vizsgálatok és eredmények

2.1. A vizsgálat anyaga

Vizsgálataink tárgya a futómű alapanyagául szolgáló az EN 10083-3 szabvány szerinti 30MnB5 jelű ötvözet, melynek szabványos összetételét mutatja az 1. táblázat. A három minta három különböző hőkezelést kapott:

A Raba 1 sorszámú minta esetén nemesítés történt: 840°C-ról, 10%-os polimerben edzve, 510°C-on megeresztve + kémiai marással a felületi dekarbonizált réteg eltávolítása + sörétszórás

A Raba 2 sorszámú minta háromszor járta meg a nemesítési ciklust (lásd fent) így egy mély erősen dekarbonizálódott réteg jött létre+ sörétszórás

A Raba 3 sorszámú minta csak egyszer került nemesítésre + sörétszórás

A mintákból a mérésre alkalmas méretű (52 mm x 22mm) próbadarabokat vágunk ki, olyan módon, hogy a vizsgálni kívánt jellemzőiben ne következhesen be változás.

C	Si	Mn	P	S	B
0,27-0,33	max. 0,4	1,15-1,45	max. 0,025	max 0,035	0,0008-0,005

1. táblázat:

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 a „3” minta esetében 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 mindhárom minőségű darabon. A vizsgálat eredményét mutatja a 2. ábra

A felületi érdességi adatokból szórás számolva jellemezhetjük a felület minőségét (2.Táblázat). A szórás számolásakor figyelembe kell venni a felület minőséget jelentő függvények menetét, ami a tárgyasztalnak a nem tökéletesen vízszintes fekvésének az eredménye. A „2” sorszámú mintának a legnagyobb a szórása és az „1” jelű mintának a legkisebb. A „2” jelű mintán a háromszori hőkezelés következtében a legerősebb a dekarbonizálódottság mértéke, ami a minta felületének csökkent folyáshatárát eredményezi. Ebben az esetben a becsapódó szemcsék kinetikus energiájának nagyobb része fordítódott képlékeny alakváltozásra, mint a kisebb dekarbonizációt okozó hőkezelési műveleten átesett minták esetében.

	Raba1	Raba2	Raba3
átlag	29,90957	29,86527	29,98864
R ²	2,36821E-27	2,68129E-26	7,20954E-27

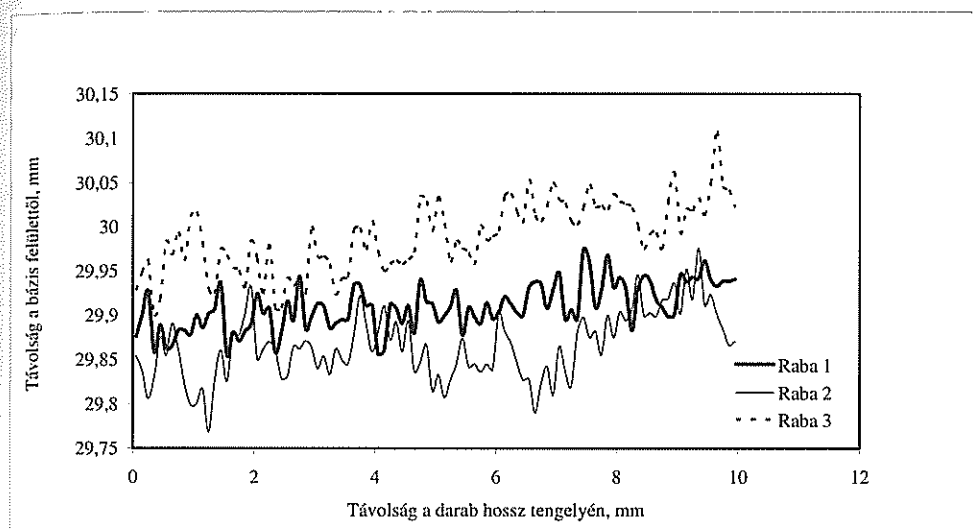
2. táblázat:

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 anyagválasztást 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 3. 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. ábra: Szemcseszórást követő felületi érdesség

2.4. Maradó feszültség meghatározása röntgendiffrakcióval

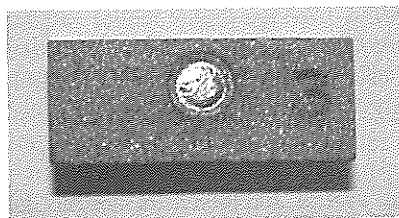
A mérő- kiértékelő software lehetőséget biztosít arra, hogy a minél pontosabb maradó feszültség meghatározásához kalibrációs méréseket végezzünk. Ezeket a méréseket a vizsgálandó anyaggal azonos minőségű ám lehetőleg a feszültségmentes állapotban lévő mintákon végeztük. Ezért mindhárom mintából argon védőgáz jelenlétében 500°C -on félórát hőntartva kemencében hűtve feszültségtelenített etalont készítettünk.

A feszültség mérés a kezelt és az etalon mintákon a következő módon történt:

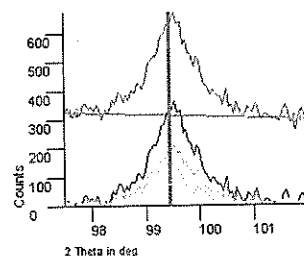
1. Felvettük a minta kiválasztott (211) reflexióját a $2\theta=97,5-102^\circ$ szögtartományon, $\Delta 2\theta=0,05^\circ$ lépés közzel, lépésenként 20 szekundumos gyűjtési idővel.

2. A rögzített csúcson elvégeztük a szokásos korrekciókat (simítás, háttérleválasztás, $K\alpha_2$ leválasztás, abszorpciós és P-L korrekció). A korrekció egyes lépéseinek az eredményét egy kiválasztott mintán mutatjuk be: 3. ábra b) része.
3. Valamely módszer segítségével meghatároztuk a Bragg szöget. Jelen méréseinknél mi a súlyponti módszert választottuk.
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 pont helyen fennálló feszültségállapot meghatározásához. Ennek eredményét mutatja a különböző ψ értékek mellett a a) része.
5. Az anyagi jellemzők ismeretében ($E=210000\text{MPa}$, $\nu=0.280$), és a $\sin^2\psi$ módszer segítségével a különböző döntési pozícióknál ($\sin^2\psi$) meghatározott rácsorzulás értékekből (strain) grafikusán kiszámoljuk a feszültség értékét, mely a pontokra fektetett egyenes meredeksége (4. ábra b) része) [13].
6. A mérési pontosság növelése érdekében a vizsgálatot elvégezzük az azonos módon kezelt de, feszültségtelenített mintákon is, minden ψ értéknél. Az így kapott értékkel a minták eredményeit korrigáljuk. Mivel vizsgálatunk célja nem a feszültségek abszolút értékének a meghatározása volt, hanem a különböző minták közötti feszültség különbségek kimutatása, ezért jelen munkákban a korrigálatlan adatokat mutatjuk be.

A felületen mért feszültség eredményeket az 5. ábra, a felület alatti eloszlás értékeket pedig a 6. ábra mutatja.



a)



b)

3. ábra: a) Rába 3 minta elektrokémiai felületleválasztás után, b) a feszültség méréshez kiválasztott (211) csúcs és a szükséges korrekciók eredménye

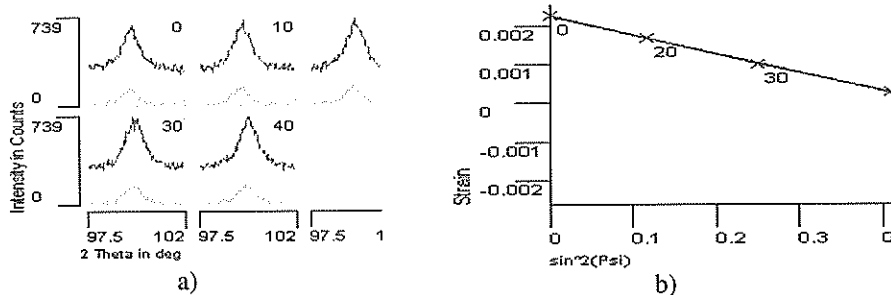
3. Eredmények értékelése, összefoglalás

Vizsgálataink célja volt, hogy, megtudjuk milyen hatással van az eltérő hőkezeltségi állapot az azonos módon szemcse szórt darabokban kialakuló maradó feszültségállapotra. Vizsgálatainkat a Rába Futómű Kft-nél használt ötvözet 3 különböző mértékben dekarbonizálódott mintáján végeztük el. Vizsgálataink során kvantitatív módon jellemeztük a szórás hatására kialakuló felületi érdességet. Megállapítottuk, hogy a dekarbonizáció előrehaladtával jelentős különbségek alakulnak ki a darabok felületi

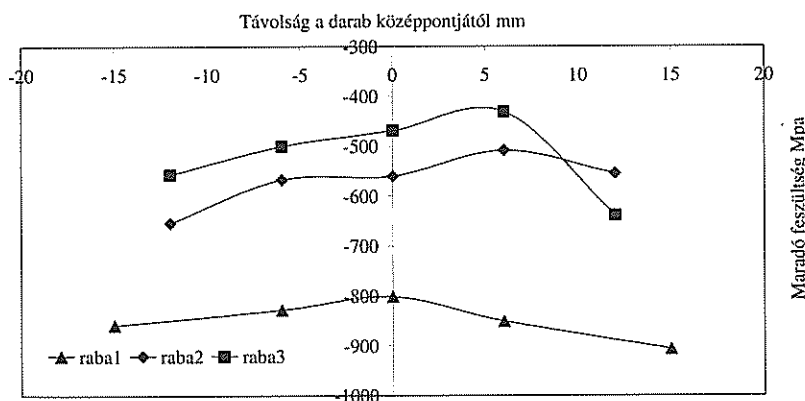
minősége között. A kisebb szilárdságú rétegben nagyobb mértékű maradó alakváltozást okoznak a becsapódó szemcsék, így a felület egyenetlensége nő.

A feszültségállapotot röntgendiffrakciós vizsgálatokkal határoztuk meg. Mindhárom mintán 5 felületi mérést végeztünk. Megállapítottuk, hogy az eredmények erős szórást mutatnak, ami a felület minőségével magyarázható. A legkevésbé dekarbonizálódott „1” minta mutatott a legmagasabb feszültségértékeket a felületen míg, a „2” „3” minta hasonló, de az első mintának csak kb. 60%-át. A magasabb felületi C tartalmú minta felszínének folyáshatára magasabb, így ugyanazon energiájú szemcse nagyobb rugalmas feszültséget eredményez, a dekarbonizálódott minták esetén inkább képlékeny alakváltozást idéz elő.

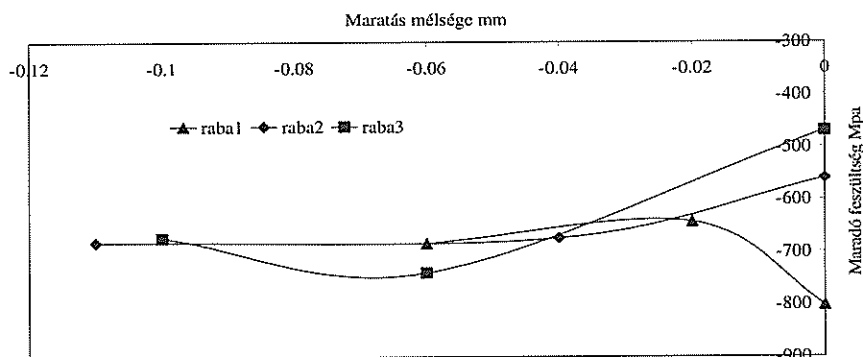
A minták mélységi feszültegeloszlásának vizsgálatát is megkezdtük, hisz a vásárlók előírása is pont erre vonatkozik. A minták anyagleválasztását kémiai úton végeztük, egy jól szabályozható elektrolitos polírozó berendezéssel. A felületi minőség a minták oldódási sebességét is erőteljesen befolyásolta. Ez a különböző felületi egyenetlenségből származó eltérő fajlagos felülettel illetve az eltérő feszültségállapottal magyarázható.



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



5. ábra: A minták felületén meghatározott feszültség értékek



6. ábra: A felület alatti feszültség eloszlás értékek

A felület alatti feszültségeloszlás lefutási jellege szintén eltér a három mintánál. Az irodalomból ismert feszültség minimum (nyomó maximum) a vizsgált mintáinkon nem volt kimérhető. Ennek tisztázására az eltérő oldódási jelleget figyelembe vevő, további (sűrűbb) mérési pontokból álló vizsgálatot javasolunk.

Eddigi vizsgálataink alapján mérésekkel bizonyítottuk, hogy az előzetes hőkezelés erősen befolyásolja a szemcseszórás követő feszültségállapotot. A felmerült tisztázandó kérdéseken túl további céljaink a különböző felületkezelések paramétereinek és a feszültségállapot korrelációinak vizsgálata.

Felhasznált irodalom

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. Súlyom Jenő: Maradó feszültség mérése röntgendiffrakciós módszerrel gépalkatrészekben, Tanulmány, Miskolc, 2007, kézirat
4. Krauss: Principles of Heat treatment of steel, ASM Metals Park, Ohio 1980 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 Part I- Measurement techniques, Mat Sci ann Technology, April 2001 Vol17 pp: 355-365
11. 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