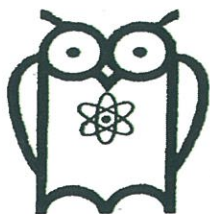


DIÁKTUDOMÁNY

A MISKOLCI EGYETEM TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI MUNKÁIBÓL



2011-2012.



**A Miskolci Egyetemen működő tudományos képzési
műhelyek összehangolt minőségi fejlesztése**

TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008



SZÉCHENYI TERV



Cseh Dávid a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának 10. féléves Anyagmérnök MSc. hallgatója Fémek Hő és Felületkezelése szakirányon. Röntgendiffrakciós maradó feszültség vizsgálatokkal 4. félévvel kezdődően foglalkozik Dr. Mertinger Valéria docens tudományos témavezetésével. A témában elért eredményeit több hazai szakmai konferencián ismertette. A 2011. Áprilisában Baján megrendezésre került XXX. OTDK konferencián Szemcseszórás okozta maradó feszültség vizsgálata röntgendiffrakcióval c. dolgozatával I. díjat szerzett. Vizsgálatait folytatva tapasztalatait a 2011. Novemberében megrendezett kari TDK konferencián publikálta az Anyagtudomány II. szekciójában Felület tömörítés okozta maradó feszültség vizsgálata röntgendiffrakcióval címmel, mellyel külön díjban részesült.

Röntgendiffrakciós maradó feszültség vizsgálatok

Cseh Dávid

Bevezetés

Maradó feszültségnek nevezzük a szilárd test belsejében ható feszültségeket. Ezek a feszültségek a szilárd testen belül egyensúlyban vannak mind addig, amíg külső hatás a testet nem éri. Ha a testtel hőt közlünk a maradó feszültségek relaxálnak, vagy ha megbontjuk a vizsgált test folytonosságát (furatot alakítunk ki rajta) a maradó feszültségek egyensúlya felbomlik és a darab deformációját okozhatják. Minden szilárd anyag hordoz maradó feszültséget ez a szilárd halmazállapot egy sajátos jellemzője. Maradó feszültséget eredményez, ha egy kompakt test nem minden pontjában azonos a hőmérséklet, mert akkor az eltérő hőmérsékletű térfogat elemek eltérő mértékben szenvednek hő tágulást. Belátható, hogyha egy test hőmérséklete változik, az a darabban hőmérséklet gradiens kialakulását okozza, hiszen egy kiterjedt test minden pontját nem tudjuk azonosan melegíteni illetve hűteni. Tehát minden a darabban hőmérséklet különbséget előidéző technológiánál, számolnunk kell járulékos maradó hő feszültséggel. Szintén maradó feszültséget okozhat a darabban képlékeny hideg alakítás, hiszen nem azonos a darab minden pontjában a képlékeny alakváltozás mértéke. Maradó feszültséget eredményez a darab belsejében történő allotróp átalakulás, hiszen ez is fajtérőfogat változással jár.

A maradó feszültség veszélyes lehet, hiszen szuperponálódhat a testre ható feszültséggel így a darabban ténylegesen ható feszültség a darab tönkremenetelét okozhatja. A maradó feszültség okozta jenségek nem csak műszaki ember számára tetten érhetők. Egy hosszában kettévágott sárgarépa is ívbe hajlik. A kivágott fa berepedezik illetve vetemedik. A mikrohullámú sütőben használható ételhordó dobozok teteje használat közben propelleresedik (asztalra téve az egyik sarka nem fekszik a síkban) ezeket deformációkat mind a darabban ható belső maradó feszültségek relaxációja okozza. Általában törekszünk a maradó feszültség terhelés csökkentésére. Szabályozottan hűtjük a felhevített munkadarabokat. A nagy maradó feszültséggel terhelt darabokat feszültségcsökkentő izzításnak vetjük alá (így leépülhet pl.: a hideg alakítás okozta maradó feszültség és szabályozott hűtéssel a darab csak kismértékű hő feszültséget tárol). Ezek alapján az a gondolata támadhat az olvasónak, hogy a maradó feszültség egy szükségszerűen jelenlévő, elkerülhetetlen, káros jelenség, de ez nem igaz. A maradó feszültség munkára fogható. A feszültségek szuperpozíciójának elve alapján, ha a darabban jellemzően ható feszültséggel ellentétes előjelű maradó feszültséget alakítunk ki az általunk gyártott munkadarabban, akkor a maradó feszültség csökkenti a darabra ténylegesen ható feszültség értékét. Így nőhet az élettartam, vagy azonos élettartam mellett kisebb keresztmetszetű alkatrész is képes funkcióját betölteni. Mivel a

húzójellegű terhelés jellemzően veszélyesebb, mint a nyomó jellegű megterhelés általában maradó feszültséggel erősítjük anyagainkat. [1] A direkt maradó feszültség alkalmazásának tipikus esete, amikor egy alkatrészt fárasztó igénybevétellel szemben kívánunk ellenállóbbá tenni. Ekkor a szóban forgó alkatrész felületi rétegeiben hozunk létre maradó nyomófeszültség állapotot így a veszélyes pontban ható húzó feszültség értéke csökken. A direkt maradó feszültség gyakorlati alkalmazása pillanatnyilag csak fémes anyagok esetében megoldott. A gyártmány felszíni rétegeiben direkt maradó feszültség állapot létrehozását célzó technológiákat összefoglalóan felülettömörítési eljárásoknak nevezzük.

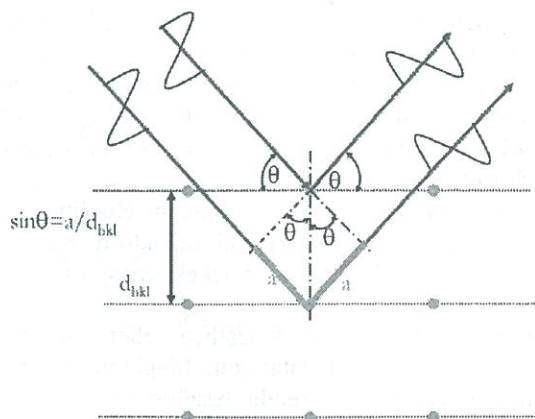
Munkám során összehasonlítottam a Rába Járműipari Holding NyRT által alkalmazott élettartam növelő (felülettömörítő) technológiák maradó feszültség ébresztő képességét tekintettel a maradó feszültséggel erősített termékek anyagi minőségére.

A maradó feszültség mérése: A szilárd testben fellépő maradó [2,3] feszültségek különböző nagyságrendben fejtik ki hatásukat. Megkülönböztetünk első, másod, ill. harmadrendű feszültségeket. Az első rendű feszültségek a darab jellemző méretével azonos nagyságrendben fejtik ki hatásukat (ún makroszkopikus feszültségek) a másodrendű feszültségek a szövetszerkezeti elemek nagyságrendjében hatnak (ún mikroszkopikus feszültségek) az atomi távolságokban munkáló feszültségek az ún szub-mikroszkopikus feszültségek.

A maradó feszültség a fémes anyagban a fémrács rácspontjaiban elhelyezkedő fém atom törzsek egyensúlyi helyzetből való kitérését eredményezi. Kristálytani megközelítésben ez azt jelenti, hogy változik a darab rácsparamétere.[2,3] A maradó feszültség mérésére nincs szabványosított széles körben elterjedt vizsgálati eljárás. Az anyag számos fizikai tulajdonságát jellemzően befolyásolja a maradó feszültség melyek mérése mind lehetőséget ad a maradó feszültség kalkulációjára. [1,5] A maradó feszültséggel terhelt anyagnak a maradó feszültségre jellemzően változik pl.: a mágneses domén szerkezete, hőmérsékleti sugárzása, a benne haladó ultrahang terjedési sebessége. A maradó feszültség mérésére pillanatnyilag a diffrakciós módszerek szolgálnak a legjobb eredményekkel. Ezen eljárások a legpontosabbak a kvantitatív maradó feszültség mérésére alkalmas maradó feszültség mérési technikák között.

A maradó feszültség röntgen diffrakciós mérésének fizikai háttere: A röntgendiffrakciós vizsgálati technikákra a röntgensugár hullám természete ad lehetőséget. [1,2,4] Mind az elektromágneses mind a mechanikai hullámokra igaz az, hogy ha hullámhosszukkal összemérhető rácsállandójú rácson szóródnak a visszaverődő hullámok egymáshoz képest fázis eltolódást szenvednek. Ha a szóródó hullám eredetileg monokromatikus volt, akkor a szórt hullámok fázis különbsége állandó, ekkor koherens hullámokról beszélünk. Ezekre a hullámokra igaz, hogy a fázis eltolódásokból eredően a visszaverődő hullámok találkozásukkor a hullámok szuperpozíciójának törvényszerűségei alapján fáziseltolódásaik szerint erősíthetők és gyengíthetők egymás hatására. A hullámok összeadódását interferenciának nevezzük. Az azonos fázisban találkozó szóródott hullámok egymás hatására maximálisan erősítik, az egymással ellentétes fázisban találkozó szóródott hullámok kioltják egymást. A szóródott hullámokat tartalmazó hullámtérben így vannak, helyek ahol a hullámok megszűnnek látszanak, illetve ahol felerősödnek. A koherens szórt hullámokat tartalmazó hullámtérre igaz, hogy az interferencia jellegzetes térbeli amplitúdó eloszlást, ún. interferenciaképet hoz létre. Ezek az interferenciaképek a szóródó hullám hullámhosszától és a rács rácsállandójától függenek, így alkalmasak arra, hogy ismert hullámhossz esetén jellemezzük a rácsot. Maga a diffrakció a hullámoknak az útjukba

kerülő akadályok miatt bekövetkező szóródását, elhajlását, azaz eltérést jelenti. Ebből eredően az interferenciaképnek egy másik elnevezése a diffrakciós kép.



1. ábra A röntgendiffrakció elvi alapja

Adott rács röntgennel történő megvilágítása esetén a röntgen behatolva a rácsba nem csak a felület síkjából verődik vissza (1. ábra). Ilyen esetben a visszaverődő, találkozó hullámok abban az esetben erősítik egymást teljes mértékben, hogy ha útkülönbségük azonos a hullámhosszuk egész számú többszörösével. Adott hullámhosszú, adott Miller indexű rács síksorozatról visszaverődő hullámok teljes erősítésének feltételét a Bragg egyenlet írja le.

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (1)$$

Mely egyenletben n : egész szám, λ a röntgen sugárzás hullámhossza, d_{hkl} adott hkl Miller indexű síkok rácssík távolsága, θ a diffrakció szöge. A diffrakciós mérések során a d távolságot keressük úgy, hogy ismert λ hullámhosszúságú röntgen hullámmal besugározva a vizsgálandó felületet mérjük azt a θ szöget, amelynél a szórt sugárzásnak intenzitás maximuma van. Adott felületi reflexióról alkotott diffrakciós kép, a különböző szögekben mért visszaverődő sugár intenzitásának mérése. Az adott szögeknél mérhető diffrakciós csúcsokból visszazámolható a diffrakciót okozó síksorozat távolsága. Adott „ a ” rácsparaméterű kockarács tetszőleges (hkl) Miller indexű rácssíkok távolsága következő összefüggésből számolható

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2)$$

Mivel az anyagban a rugalmas maradó rácsfeszültség hatására a rácssíkok távolsága megváltozik, a rácssík távolságok megváltozásának mérésével visszazámolható a feszültség. Tehát maradó feszültség mérésekor az adott d_{hkl} rácssík távolság változás okozta Bragg szög eltolódását mérjük.

A maradó feszültség meghatározásához az úgynevezett $\sin^2 \Psi$ módszert használjuk, mellyel tetszőleges irányban ébredő feszültség meghatározható, a vizsgált anyag szilárdsági állandóinak (E rugalmassági modulus, ν Poisson szám) ismeretében.

A vizsgálat anyaga: Maradó feszültség méréseket végeztem különböző módon nemesített, azonosan szemcseszórt, illetve különböző módodon kovácsolt azonosan

szemcseszórt mintadarabokon. A nemesített minták EN 10083-3 szabvány szerinti 30MnB5 jelű ötvözetből készültek. A kovácsolt minták EN 10204 3.1 szabvány szerinti ZF 59 jelű mikroötvözt alapanyagból készültek.

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

A Raba 2 minta háromszor került nemesítésre (lásd fent) így egy mély erősen dekarbonizálódott réteg jött létre + sörétszórás

A Raba 3 minta csak egyszer került nemesítésre + sörétszórás

A Raba A minta egyszer hevítve kovácsolási hőmérsékletre, lapítva + sörétszórás

A Raba B minta kétszer hevítve kovácsolási hőmérsékletre, lapítva + sörétszórás

A Raba C minta háromszor hevítve kovácsolási hőmérsékletre, lapítva + sörétszórás

Méréseket végeztem továbbá nemesíthető acélból (CrMo 35) készült nemesített állapotú, illetve nemesített és görgőztött görgőztött állapotú tengelycsuklókból kimunkált mintákon. A minták belső lekerekítésében vizsgáltam a feszültséget. Minden különböző mintából két párhuzamos mérés végeztem. Két különböző belső lekerekítési sugarú tengely csuklónak is vizsgáltam nemesített, illetve görgőztött állapotát. A két különböző belső sugarat jelölje rn illetve rk. Az 1 illetve 2 jelzések a párhuzamos mintákat jelöli.

Nemesített rn1, Nemesített rn2: nemesített, nagyobb belső lekerekítési rádiusz párhuzamos mintái

Nemesített rk1, Nemesített rk2: nemesített, kisebb belső lekerekítési rádiusz párhuzamos mintái

Görgőztött rn1, Görgőztött rn2: görgőztött, nagyobb belső lekerekítési rádiusz párhuzamos mintái

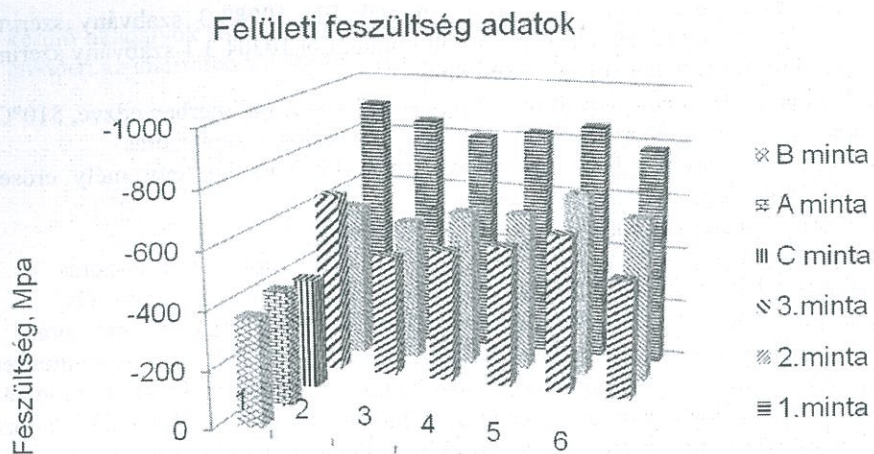
Görgőztött rk1, Görgőztött rk2: görgőztött, kisebb belső lekerekítési rádiusz párhuzamos mintái

Összehasonlítottam betétből edzhető alapanyagból készült betétedzett illetve kis intenzitással szemcseszórt fogaskeréknek a fogak osztóköreán kialakult felszíni maradó feszültségét,

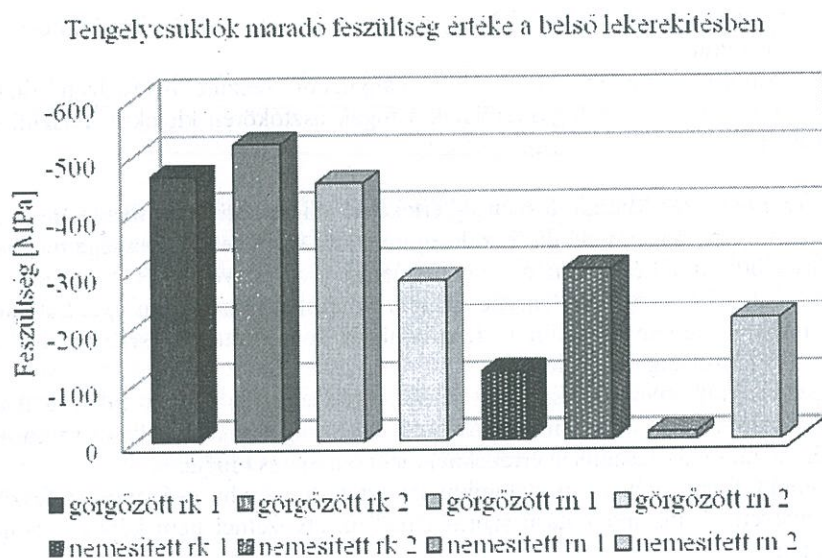
Mérési eredmények: Maradó feszültség értékeket diagramon ábrázolva (2.ábra) látható, hogy a nemesíthető acél maradó feszültség megtartó és felvevő képessége meghaladja a mikroötvözt mintákét. Látható hogy a mérési eredmények erősen szórnak. Ennek kettős oka a sörétezés egyenetlensége és mérési módszer bizonytalansága. Látható, hogy az a minta, amelyen a felületi dekarbonizált réteg eltávolításra került képes a legnagyobb feszültség megtartására.

A tengelycsuklók maradó feszültség értékei mutatják a görgőzés maradó feszültség keltő hatását. A nemesített darabok maradó feszültség értékének durva szórása annak eredménye, hogy kis feszültség értékeknél megnő a mérés hibája.

A cementált fogaskerék az irodalomból ismert tartományba eső maradó feszültséget eredményezett. A kis intenzitású szórás ennél az ötvözetnél nem képes a cementálás kiváltására.

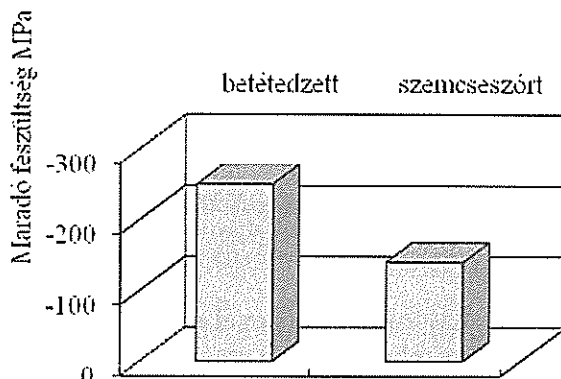


2. ábra. A nemesíthető és a kovácsolt darabok felületi feszültség állapota



3. ábra. Tengelycsuklók maradó feszültség értékei

Maradó feszültség a fog osztókörén



4.ábra. Maradó feszültség értékek a fogaskerék fogak osztókörén

Összefoglalás

A felülettömörítő eljárások alkalmazása egyre több teret nyer, hiszen tudatos tervezéssel erőforrást takaríthatunk meg. Ha maradó feszültséggel alkatrészt kívánunk erősíteni annak módját a geometria és az anyagi minőség behatárolja. Problémát okozhat, hogy esetleges technológiai fegyelmetlenség következtében (erős dekarbonizáció) a kialakuló maradó feszültség érték alatta marad a várakozásoknak.

Köszönetnyilvánítás: Köszönetet szeretnék mondani Losonczi Mihály Úrnak a Rába technológusának, hogy a mintadarabokat a rendelkezésemre bocsátotta, Sólyom Jenő Tanár Úrnak a szakmai konzultációkért. Bán Róbertnek és Márkus Zoltánnak a technikai segítségükért valamint konzulensemnek a szakmai útmutatásokért, A munkám elkészítését a TÁMOP-4.2.1.B/-10/2/KONV-2010-0001 számú projekt támogatta.

Felhasznált irodalom:

- [1.] Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel, ASM International 2008, USA pp:347-358
- [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.] Bruker D8 Advance user manual
- [5.] P.J.Withers, H.Bhadeshia: Residual Stress Part1- Measurement techniques, Mat Sci ann Technology, April 2001 Vol17 pp: 355-365

Lektorálta:

Dr. Bárczy Pál
egyetemi tanár