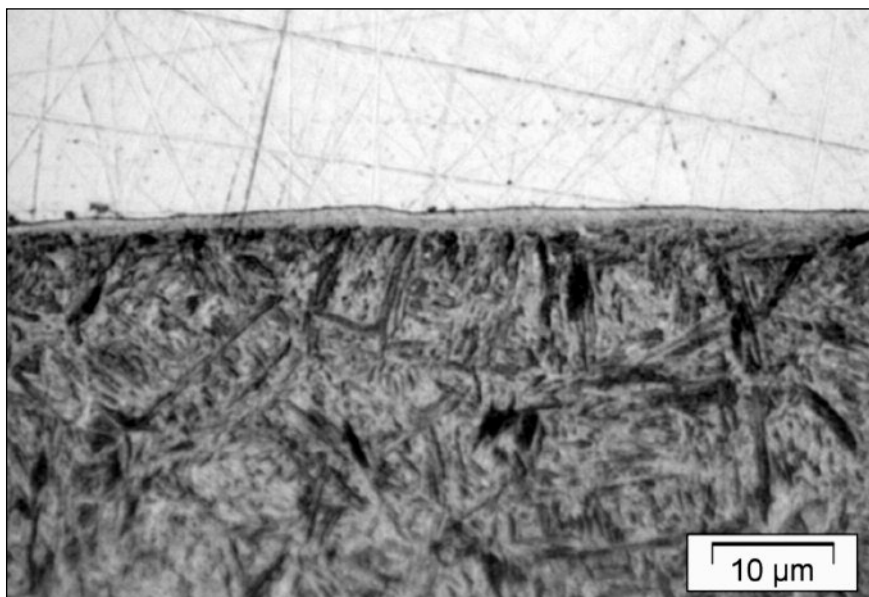


KUNDRÁK JÁNOS – GYÁNI KÁROLY – PÁLMAI ZOLTÁN

A felszíni réteg vizsgálata keménysztergált belső hengeres felületeken

Az egyre szélesebb körben alkalmazott keménysztergálásnál esetenként a megmunkált felületen ún. fehér réteg alakul ki, amely többnyire káros. 20MnCr5 jelű (MSZ 1.7147) betétben edzett fogaskerekek belső hengeres felületén a fehér réteg kialakulását különböző forgácsolástechnológiai változatoknál tanulmányoztuk. Az ezektől függően különböző vastagságúnak talált fehér réteg képelemzős és röntgendiffrakciós vizsgálatai alapján megállapítottuk, hogy ez a fehér réteg főleg martenzit, amely mellett 5...25% maradék ausztenit található.



1. ábra. Fehér réteg az edzett munkadarab keménysztergált felületén (No. 108).

1. Bevezetés

Az alkatrészgyártásban a legutóbbi egy-két évtized egyik fontos fejlődési tendenciája az edzett acélok megmunkálásának, az ún. keményforgácsolásnak a mind szélesebb körű térhódítása. A korábban köszörlött alkatrészek felületén már régen kimutattak egy speciális kemény réteget, amely a metallográfiai vizsgálatoknál szokásos maratásnak ellenállt, a képeken fehér maradt. Innen szár-

mazik a neve is: fehér réteg, betűszóval WEA (White Etching Area) [1, 2], amely esztergált kemény felületeken is megfigyelhető (1. ábra).

A fehér réteg létrejötte sajátos folyamat eredménye. Ez abban áll, hogy egy adott időpontban nem a munkadarab teljes tömege, hanem annak csak egy igen kicsiny, kb. gombostűfejnyi része hevül fel ausztenites állapotra, majd gyorsan

visszahül az eredeti hőmérsékletre. A folyamat rendkívül gyors, a melegezés sebessége 10^6 °C/s, a hűlés sebessége 10^4 - 10^5 °C/s nagyságrendű, amely martenzites átalakuláshoz vezet [3]. Ez a rövid idejű és akadályozott folyamat aztán a v_c forgácsolósebesség nagyságrendjével ($v_c = 100...200$ m/min) mozgó hősökként a teljes munkadarab felületét bejárja.

Kundrák János okleveles gépészmérnök, egyetemi tanár, a műszaki tudomány doktora. 1973-ban végzett az NME Gépészmérnöki Karán a gépgyártástechnológiai szakon. 1973-tól az NME Gépgyártástechnológiai Tanszékén tudományos ösztöndíjas gyakornok, 1975-től tanársegéd. 1980-tól egyetemi adjunktus. Egyetemi docenssé 1980-ban, egyetemi tanárrá 1999-ben nevezték ki. 2007-től a Gépgyártástechnológiai Tanszék vezetője. A Gépészmérnöki és Informatikai Kar Habilitációs Bizottságának és Doktori Tanácsának tagja. A Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola alapító (törzs) tagja. Publikációs tevékenységének adatai megtalálhatóak a MTMT adattárban.

Gyáni Károly 1952-ben szerzett gépészmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. Pályafutását a Budapesti Szerszámgépgyárban kezdte, majd a miskolci Nehézipari

Műszaki Egyetemre került. Itt a Gépgyártástechnológiai Tanszéken dolgozott 1992-ben bekövetkezett nyugdíjazásáig. Egyetemi doktori oklevelet 1975-ben szerzett, ugyanezen évben docensi kinevezést kapott. Egyetemi oktató munkája mellett tudományos tevékenységét számos szakcikk, szakkönyv, tudományos előadás, hazai és külföldi konferenciákon való rendszeres részvétel fémjelzi. Tudományos kutatómunkáját 1992 után folytatta. Figyelemreméltó eredményeket ért el az abrazív megmunkálások kutatása és az edzett anyagok forgácsolása terén. Munkatársaival társszerzésben folyamatosan jelennek meg cikkei külföldi és hazai folyóiratokban.

Dr. Pálmai Zoltán okl. gépészmérnök, okl. hegesztő szakmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa és egyetemi doktor. Részletes szakmai életrajzát 2010/5. számunkban közzöltük.

A drasztikus termomechanikai folyamat hatására kialakuló fehér réteg inkább káros, mint hasznos, ezért intenzív kutatás folyik a fehér réteg keletkezési feltételeinek, sajátosságainak megismerésére [4, 5, 6]. Egy másik beszámolómban bemutattuk azokat a vizsgálatainkat [7], amelyek szerint – a szakirodalommal egyezően [4] – a fehér réteg kialakulására akkor kell számítani, ha a forgácsolószerszám ún. életterhelése (W/mm) meghaladja a 150 W/mm értéket. Azt tapasztaltuk, hogy edzett acél keményforgácsolása esetén ez az életterhelés szoros kapcsolatban áll a megmunkálás technológiai paramétereivel, és a

$$P'_{\alpha} \cong 1,06 \frac{v^{1,3} f^{0,31} a_p^{0,59}}{l_c}, \quad (1)$$

empirikus képlettel számítható, ahol v (m/min) a forgácsolósebesség, f (mm/ford) az előtolás, a_p (mm) a fogásmélység és l_c (mm) a forgácsoló él hosszúsága. Ebben a kutatási jelentésben arról a munkánkról számolunk be, amelynek célja a fehér réteg képződési mechanizmusának fizikai metallurgiai tanulmányozása volt.

2. Kísérleti feltételek

Edzett, $d_w = 48$ mm furatátmérőjű fogaskerek belső hengeres felületét forgácsoltuk az 1. táblázatban összefoglalt technológiai adatokkal.

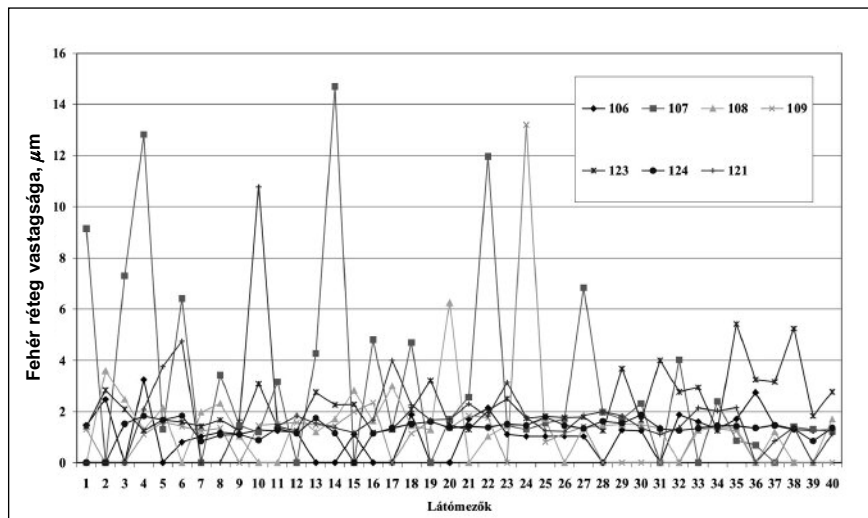
A szerszám gép EEN 400 eszterga ($P = 11$ kW), a szerszám PCBN CNGA 120408 7020 bevonatos volt $\gamma_n = -6^\circ$, $\alpha_n = 6^\circ$, $\kappa_r = 95^\circ$, $\varepsilon_r = 80^\circ$, $r_\varepsilon = 0,8$ mm; fazetta: $0,1 \times (-20^\circ)$ élgeometriával.

A kísérleti fogaskerek anyaga

1. táblázat. A keményesztergálás forgácsolási adatai a szerkezetvizsgálatokhoz ($v_c = 120$ m/min)

Próbadarab jele	Előtolás f mm/ford	Fogásmélység a_p mm	Életterhelés* P'_{α} W/mm
106	0,05	0,2	0,2
107	0,10	0,2	0,2
108	0,15	0,2	0,2
109	0,20	0,2	0,2
121	0,10	0,1	0,1
123	0,10	0,3	0,3
124	0,10	0,4	0,4

*Forgácsolási erőmérésekből meghatározva



2. ábra. A fehér réteg vastagságának ingadozása a hét próbadarabon

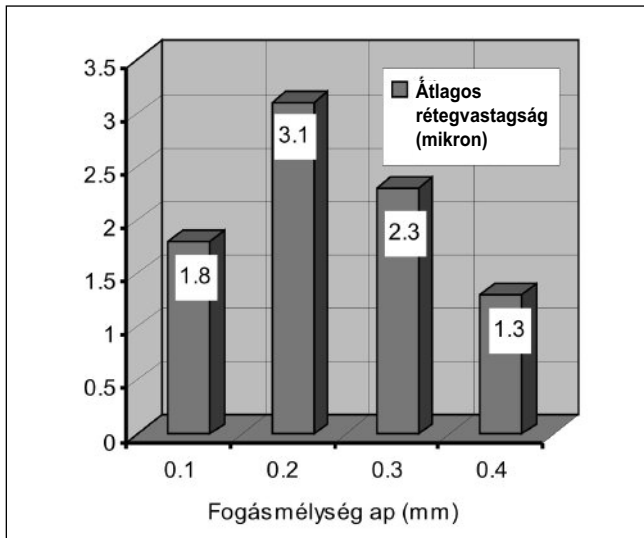
DIN szabvány szerinti 20MnCr5 (MSZ 1.7147) betétben edzhető ötvözött acél, fő ötvözői: 0,2% C, 1,2% Mn és 1,2% Cr. A 900...950 °C-on végzett cementáláskor a felszíni réteg előírás szerint 0,6 mm mélyen karbonban 0,5...0,6%-ra dúsul fel, de elérheti a 0,9...1,0%-ot is. Edzés és megeresztés után a keménység 59...63 HRC. Egy másik munkánkban részletesen beszámoltunk a kísérletek részleteiről is [8].

3. A fehér réteg képelemzős vizsgálata

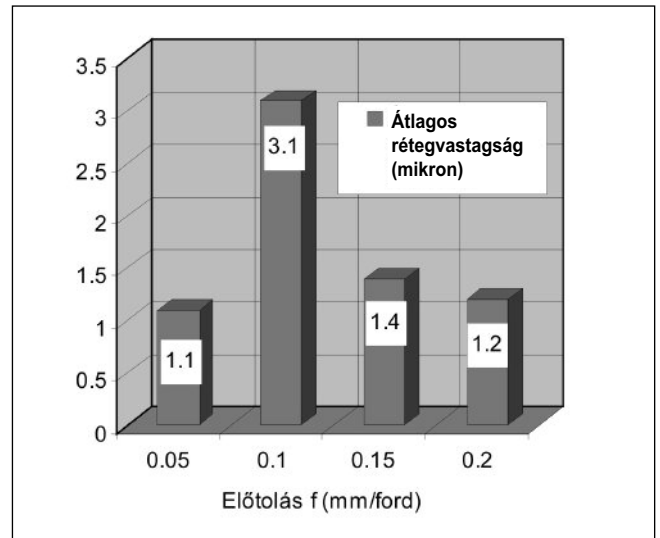
A fehér réteg vastagságának meghatározását az 1. táblázatban szereplő próbadarabokkal a Quantimet 500 Image Workstation típusú berendezéssel és a Leica képelemző szoftverrel végeztük. Valamennyi darab hosszát 40 látómezőre osztottuk, és mindegyikben megmértük a réteg vastagságát. Találtunk olyan látómezőt is, ahol nem volt réteg. A 2. ábrán, amely a különböző jelölésű próbadarabokon elvégzett mérések eredményeit mutatja, látható, hogy egyes helyeken nincs réteg, más helyeken pedig elég vastag. Valamennyi darabon változó, és egy kivétellel (123 sz.) úgynevezett megszakításos típusú a fehér réteg. Ennek többféle oka lehet: a ráhagyás nem egyenletes, miáltal a megmunkálásnál az a_p fogásmélység változó; amint a forgácsolóerő változhat, amely az anyag inhomogenitásra vagy rezgésekre vezethető vissza, a szerszám gép főorsója üt; stick-slip van a szánvezetékeken stb. A továbbiakban meghatároztuk a fehér réteg 40 mérésből számított átlagos vastagságát, amely szemléletesebb áttekintést nyújt (3. és 4. ábra). A fehér réteg 2. ábrán látható egyenetlenségének az a következménye, hogy a rétegvastagság mért értékeinek nagy a szórása (5. és 6. ábra).

Ezek az ábrák megfigyelhető, hogy a forgácsolás technológiája lényegesen befolyásolja a rétegvastagságot és annak relatív szórását. A fogásmélység függvényében a fehér réteg vastagsága maximumot mutat (3. ábra). A kisebb fogásmélységeknél a rétegvastagság növekszik, de ekkor a relatív szórás igen magas, megközelíti a 120%-ot is (5. ábra). Ezzel szemben nagyobb (0,4 mm) fogásmélységnél a rétegvastagság csökkenő tendenciát mutat, kevésbé ingadozik, és a relatív szórása 30%-ra csökken.

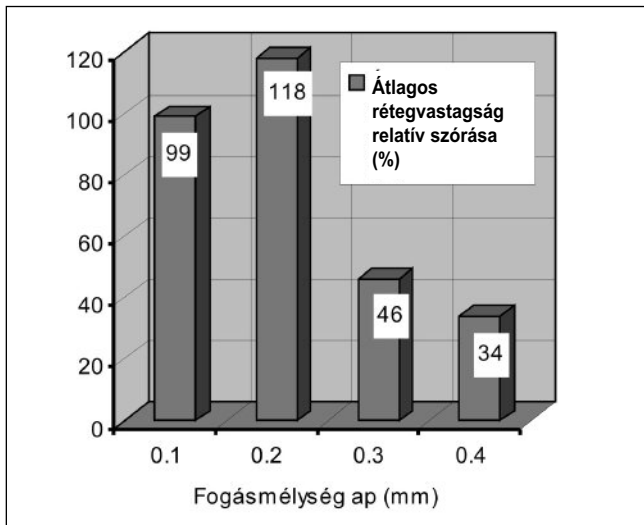
Az előtolás mértékének növekedé-



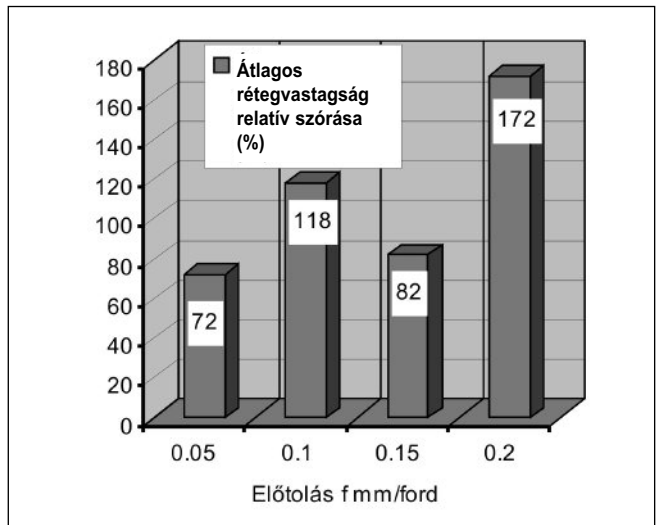
3. ábra. A fehér réteg átlagos vastagsága 40 mérésből ($f = 0,1$ mm/ford.)



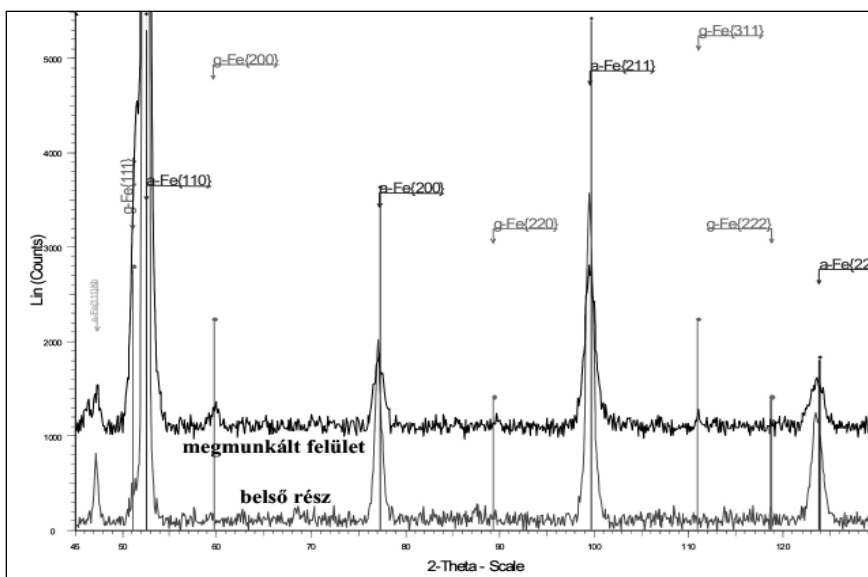
4. ábra. A fehér réteg átlagos vastagsága 40 mérésből ($a_p = 0,2$ mm)



5. ábra. A fehér réteg vastagságának relatív szórása ($f = 0,1$ mm/ford.)



6. ábra. A fehér réteg vastagságának relatív szórása ($a_p = 0,2$ mm)

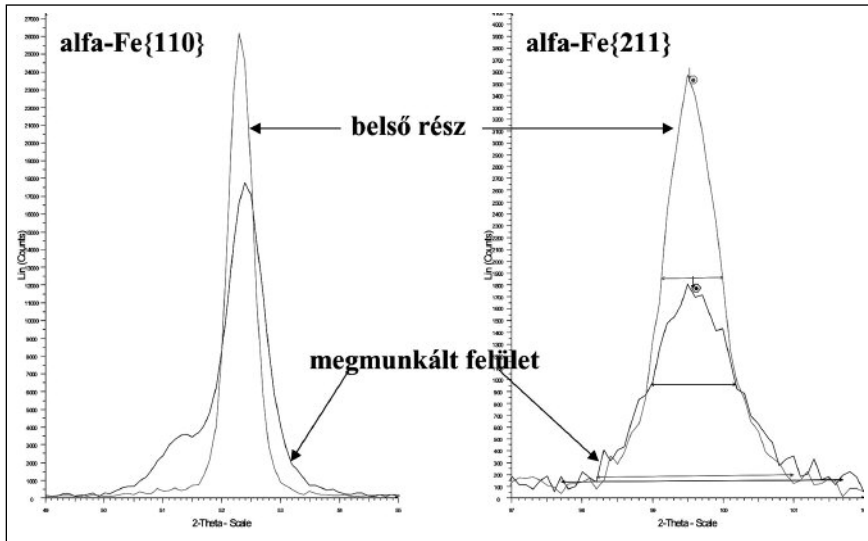


7. ábra. A 107 jelű próbadarabon felvett diffraktogramok

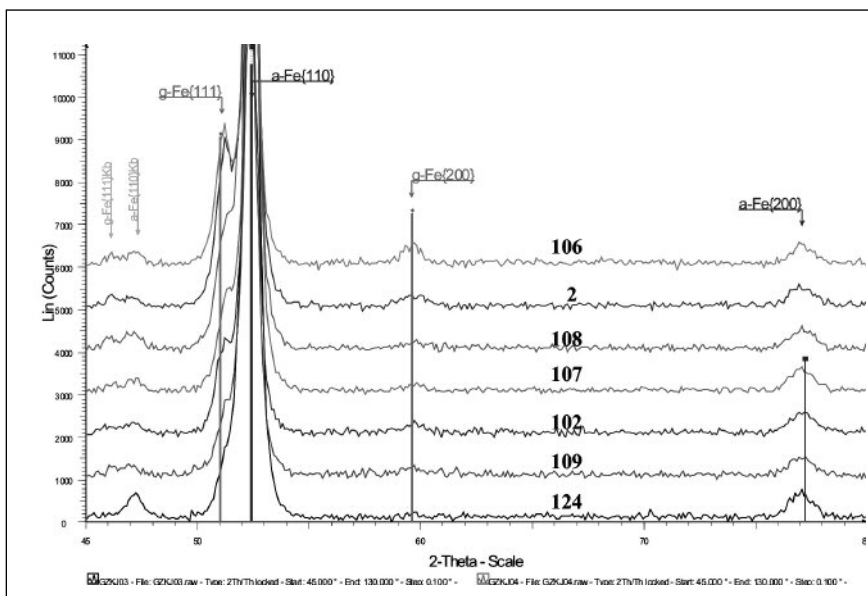
sével a rétegvastagság változása hasonló jellegű: míg a kisebb előtolásnál növekvő, addig a nagyobb előtolásnál csökkenő tendencia tapasztalható. Mindezek mellett az előtolás mértékének növelése a rétegvastagság relatív szórásának jelentős emelkedésével jár: a kezdeti 72%-ról közel 180%-ra emelkedett. Összegzőként tapasztalataink úgy foglalhatók össze, hogy a rétegvastagság relatív szórását a fogásmélység növelése csökkenti, míg a nagyobb előtolás inkább növeli.

4. A fehér réteg röntgendiffrakciós vizsgálata

A vizsgálatokat D8 ADVANCE (BRUKER AXS) röntgendiffrakciós beren-



8. ábra. A 107 jelű próbadarabon mért {110} és {211} reflexiók



9. ábra. Diffraktogramok növekvő maradék ausztenit szerint

dezással végeztük. A mérések paraméterei a következők voltak: alkalmazott sugár $\text{CoK}\alpha$, $\lambda = 0,179024$ nm. Tekintettel arra, hogy kevés csúcs volt várható, és ezek elkülönítése nem okozhatott gondot, a nagyobb intenzitás érdekében nem alkalmaztunk monokromatizálást. A gyorsító feszültség: 40 kV, elektronáram 40 mA, rések: primer oldal: \varnothing 1 nm-es Monocap, szekunder oldal: 1 mm-es antiscatterring 0,2 mm-es detektor blende, mért szögintervallum: $2\theta = 45 \dots 130^\circ$; lépésköz: $\Delta(2\theta) = 0,1^\circ$; gyújtási idő: 60 s.

A vizsgálatok célja a fehér réteg szövetszerkezetének, ezen belül a maradék ausztenit mennyiségének megállapítása, és a ferrit (martenzit) reflexiók szélesedésének mérése

révén a martenzit torzulásának meghatározása volt.

A méréseket összehasonlítóképpen a felületen, illetve a felülettől távolabb, az alapanyag belsejében is elvégeztük. A megmunkált réteg vizsgálatát az 1. táblázatban összefoglalt mind a hét mintadarabon elvégeztük, a kiinduló, a felületen nem megmunkált anyagra jellemző paramétereket a 107 jelű minta keresztirányú csiszolatán, a felülettől kb. 8 mm távolságra végzett méréssel állapítottuk meg.

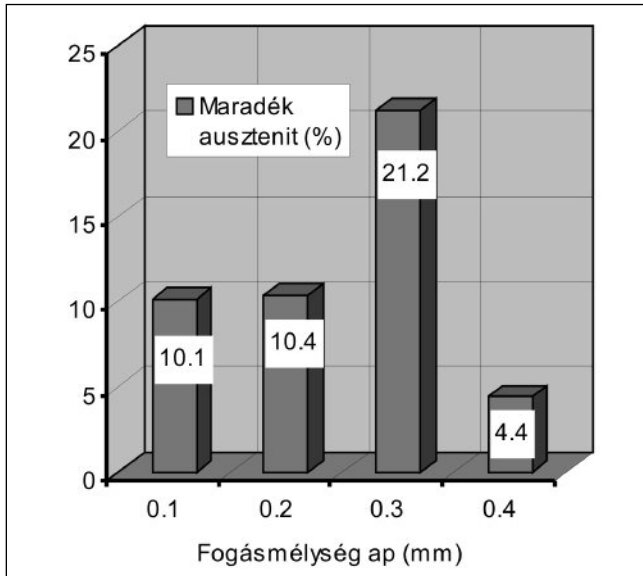
Példaként a 107 jelű mintán felvett diffraktogramokat a 7. ábrán mutatjuk be, amelyen bejelöltük az α (ferrit) és a γ (ausztenit) fázis kristálytani síkjainak megfelelő diffrakciós csúcsok szöghelyzeit.

A diffrakciós mérésekből a következők olvashatók le:

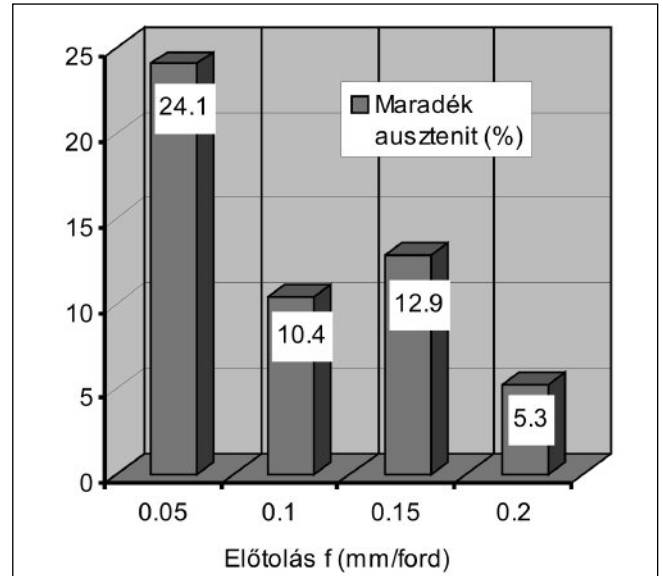
- A megmunkált felület tartalmaz ausztenit fázist is, amelynek mennyisége az $\alpha\text{-Fe}\{200\}$ és $\gamma\text{-Fe}\{200\}$ csúcsok intenzitásának meghatározása után számítási eljárással megadható. Ezt a számítást elvégeztük, amely szerint az ausztenit térfogata a 107. sz. mintán 10,4%.
- A megmunkált felület ferrit fázisának csúcsai rendre kisebb maximumokkal és nagyobb szélességgel rendelkeznek, mint a belső anyagrézben mértek. Ez az eredeti diffraktogramokon is látszik, de a jobb szemléltetés céljából a két nagyobb intenzitású reflexiót [$\{110\}$ és $\{211\}$] mindkét hely görbéjével a 8. ábrán egymás mellett ábrázoltuk. Megállapítható, hogy az $\alpha\text{-Fe}\{110\}$ csúcs erősen átlapolódik a $\gamma\text{-Fe}\{111\}$ csúccsal, ezért a szélesség számszerű megállapítása értelmetlen, de az $\alpha\text{-Fe}\{211\}$ csúcs különálló, és módot ad a félérték szélesség (a 8. ábrán jelölve), valamint az úgynevezett integrál szélesség meghatározására. Ez utóbbi pontosabban fejezi ki a csúcsreflexió torzultságát.

A 107 jelű mintán elvégzett mérések, és az eredmény kiértékelése, a módszer kipróbálása után a további minták megmunkált felületén is megtörténtek a mérések. A darabok belsejét nem mértük újra, feltételeztük, hogy minden darab magja homogén. A felvett diffraktogramokat a 9. ábra mutatja. A jobb szemléletesség miatt csak az erősebb ausztenit reflexiók ($\{111\}$ és $\{200\}$) kisebb szögintervalluma van feltüntetve. Az ábrán a görbék alulról a növekvő maradék ausztenit-tartalom szerint helyezkednek el.

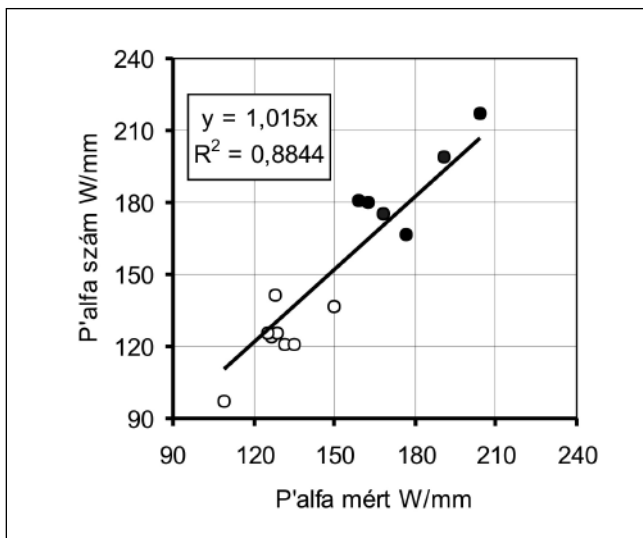
A röntgendiffrakciós vizsgálatok kimutatták, hogy a betétedezett 20MnCr5 acélon képződött fehér réteg martenzit, amely 5...25% maradék ausztenit tartalmaz, és ez összhangban van a szakirodalomban közölt megállapításokkal [5, 9]. A röntgendiffrakciós vizsgálatokkal párhuzamosan tanulmányoztuk azt is, hogy a forgácsolási paraméterek hogyan befolyásolják a fehér réteg és környezetének szerkezetét, a maradék ausztenit mennyiségét. Az eredményeket a 10. és 11. ábra foglalja össze.



■ 10. ábra. Maradék ausztenit mennyisége a fogásmélység függvényében ($f = 0,1$ mm/ford.)



■ 11. ábra. Maradék ausztenit mennyisége az előtolás függvényében ($a_p = 0,2$ mm)



■ 12. ábra. A P'alfa értékek illeszkedése (a telt köröknél van fehér réteg)

5. Diszkusszió

A felületi réteg fázisa minden bizonnyal martenzit. Ezt támasztja alá a csúcsok nagyobb torzultsága (szélessége), és a mellette lévő ausztenit fázis jelentős mennyisége. A torzultság a nagy rácshibasűrűség következménye. A torzultság és a maradék ausztenit egyidejű jelenlétét csak az indokolhatja, hogy a felület az ausztenitessé alakulás hőmérsékletéig hevült, majd az ezt körülvevő anyagterefogat hűtő hatására oly gyorsan hűlt, hogy martenzitesen alakult át, és a martenzit mellett ausztenit maradt.

A diffrakciós mérések értékeléséhez meg kell jegyezni, a vékony réte-

gek ilyen módon történő vizsgálata azzal jár, hogy a kapott információ nemcsak a rétegből, hanem az alatta levő rétegből is származik, olyan átlagként, amely a röntgensugár behatolás mélysége által szabályozott. Így a mért maradék ausztenit különböző mennyisége a martenzites réteg mérése helyén lévő fehér réteg vastagságának következménye, és az alatta levő réteg tulajdonságától (edzett kéreg) lehet, és természetesen a legkülső réteg állapotától, azaz valószínűleg ausztenittartalmától is függ.

A maradék ausztenit mennyiségének növekedését több tényező okozhatja:

- a fehér réteg vastagságának a növekedése és ezzel a vizsgált térfogatban a fehér réteg térfogatának, és/vagy
- a hevítéskor keletkező ausztenit összetételének a változása, ami adott rétegvastagságnál is módosíthatja a maradék ausztenit-mennyiséget.

Ezek azonban feltételezések, a je-

lenség háttérre vonatkozólag egyelőre nincs egyértelmű fémtani magyarázat.

Eredményeink megítélésénél rá kell mutatni arra, hogy az összetétel tekintetében három vélemény létezik:

- A fehér réteg nem megeresztett (untempered) martenzitből (plusz maradék ausztenitből) áll. A martenzit a megmunkálás alatt ausztenitté vált szövetszerkezetből gyors lehűlés miatt keletkezett. Közepes és nagy karbontartalom esetében fordul elő [5, 9, 10].
- A fehér réteg főleg (akár 73%-ban is) ausztenitből áll. Eutektoidos vagy hipereutektoidos összetételű fordul elő [4, 11, 12].
- A fehér réteg finomszemcsés (nanométer nagyságrendű) ferriszemcsékből áll. Főleg nagy karbontartalmú acéloknál tapasztalható [2].

A fentiekkel kapcsolatos célvizsgálatok eredménye az lett, hogy a fehér réteg szövetszerkezete jelentősen függ az acél összetételétől. *Brinksmeier* [13] szerint a hipereutektoidos acéloknál a fehér réteg igen finomszemcsés martenzit (α -Fe csúcsok), míg a hipereutektoidos acéloknál döntően ausztenit (γ -Fe csúcsok). Később megerősítette ezt *Klocke* is [1]. Esetünkben a 20MnCr5 cementálás utáni C-tartalma minden bizonnyal a hipoeutektoidos tartományba esik, és közel lehet 0,8%-os eutektoidos összetételhez. Ezért jelenik meg a fehér rétegben a martenzit mellett a maradék ausz-

tenit is. A röntgendiffrakciós vizsgálatok eredménye a szakirodalmi közlésekkel összhangban van. Nyitott kérdés azonban, hogy az általunk tapasztalt maradékausztenit-csökkenés miért következik be a fogásmélység vagy az előtolás növekedésével.

A 3–6. ill. 10–11. ábrák összevetésével megállapítható, hogy a maradék ausztenitnek nincs semmilyen kapcsolata sem az átlagos rétegvastagsággal, sem a rétegvastagság relatív szórásával (a Pearson-szám $R^2 \approx 0$, ill. $R^2 = 0,16$). Az 1. táblázat adatai és a 10, 11. ábra összevetése alapján pedig az állapítható meg, hogy a szerszám mechanikai életterhelése és a maradék ausztenit mennyisége között sincs érdemleges összefüggés ($R^2 = 0,41$).

Annak ellenére, hogy az életterhelés a fehér réteg keletkezése szempontjából egy lényeges műszaki paraméter, hiszen minden olyan esetben, amikor meghaladja a 150 W/mm értéket, a fehér réteg kialakul (12. ábra) [7]. Mégis, ez a paraméter a keletkező réteg vastagságáról, ill. annak relatív szórásáról semmit nem mond, kapcsolat közöttük egyáltalán nem mutatható ki ($R^2 \approx 0$, ill. $R^2 = 0,35$). Ez természetesen lehet annak a következménye is, hogy csak kevés próba vizsgálati eredményével rendelkezünk, és ez alkalmatlan statisztikailag megalapozott megállapítás megtevéleire. A nyitott kérdések tisztázására további vizsgálatokat tervezünk.

5. Összefoglalás

Különböző forgácsolási technológiával előállított mintadarabokon képződött fehér réteg vastagságát mikroszkópi képelemzős módszerrel, szövetszerkezetét röntgendiffrakciós eljárással vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy az martenzitből és maradék ausztenitből áll. A maradékausztenit-tartalom adott v_c forgácsolósebesség esetében a fogásmélységtől és az előtolástól is függ. A maradék ausztenit a betétedzett 20MnCr5 acél esetében 5...25% között van. A röntgendiffrakciós vizsgálatok eredménye a szakirodalmi közlésekkel összhangban van.

Az itt bemutatott munka jelentőségét abban látjuk, hogy gyarapítottuk

az egyre nagyobb jelentőségre szertevő keménysztergálásnál a fehér rétegre vonatkozó ismereteket, amelyeket a téma fontossága miatt tovább kell bővíteni.

Köszönetnyilvánítás

A képelemzős és a röntgendiffrakciós vizsgálatokért köszönettel tartozunk a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítástani és Nanotechnológiai Intézet munkatársainak.

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Barbacki, A., Kawalec, M., Hamrol, A.: Turning and grinding as a source of microstructural changes in the surface layer of hardened steel. *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 133/1-2, 2003, pp. 21–25
- [2] Klocke, F., Brinksmeier, E., Weinert, K.: Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Process. *Annals of the CIRP* (2005), Vol. 54/1. pp. 22–45.
- [3] Y. Kevin Chou, Cris J. Evans: White layers and thermal modelling of hard turned surfaces. *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture* Vol. 39/12, 1999, pp. 1863–1881.
- [4] Brandt, D.: Randzonenbeeinflussung beim Hartdrehen. Dr. Ing. Dissertation, Institute for Production Engineering and Machine Tools, Universität Hannover, 1995.
- [5] Akcan, S., Shah, S., Moylan, S.P., Chabra, P. N., Chandrasekar, S., Farris, T. N.: Characteristics of white layers formed in steels by machining. *ASME Med. Vol. 10. Manufacturing Science and Engineering*, Nashville TN, 1999, pp. 789–795.
- [6] G. Poulachon, A. Albert, M. Schluraff, I. S. Jawahir: An ex-

perimental investigation of work material microstructure effects on white layer formation in PCBN hard turning, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2005, Vol. 45/2, pp. 211–218.

- [7] Kundrák J., Pálmai Z., Gyáni K.: Fehér réteg technológiai feltételei keménysztergálásnál. *GÉP. LXIII.* (2012) No. 1. pp. 15–18.
- [8] Kundrák, J., Gács, Z., Gyáni, K., Bana, V. and Tomolya, K.: X-ray diffraction investigation of white layer development in hardturned surfaces. *The International Journal of Advances Manufacturing Technology*, 2011. DOI: 10.1007/s00170-011-3811-7.
- [9] Jeffrey, D. T., Shreyes, N. M., Roberta, A. P., Thomas, R. W.: Effect of Cutting-Edge Geometry and Workpiece Hardness on Surface Residual Stresses in Finish Hard Turning of AISI 52100 Steel. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* Vol. 122/4 2000, pp. 642–649.
- [10] Rech, J., Moison, A.: Surface Integrity in Finish Hard Turning of Case Hardened Steels Application to Gear Cone Brakes. *Proc. Of the Int. Conf. On Manufacturing Engineering (ICME) 3-4 Oct, 2002.* Haikidiki, Greece. pp.195–203.
- [11] Tönshoff, H., Wobker, H., Brandt, D.: Eigenspannungen und Randzonenausbildungen beim Hartdrehen. *HTM Härtereitechnische Mitteilungen*, Band 50 (1995) Heft 3, pp. 176–181
- [12] Y. B. Guo, A. W. Warren, F. Hashimoto: The basic relationships between residual stress, white layer, and fatigue life of hard turned and ground surfaces in rolling contact, *CIRP Journal of manufacturing Science and Technology*, 2010, Vol. 2/2, pp. 129–134.
- [13] Brinksmeier, E., Brockhoff, T.: White Layers in Machining Steels. 2. *Int. Conf. On High Speed Machining*, PTW TV, Darmstadt, 1999, pp. 7–13.