

FEHÉR RÉTEG TECHNOLÓGIAI FELTÉTELEI KEMÉNYESZTERGÁLÁSNÁL

THE TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF WHITE ETCHING AREA IN HARD TURNING

Dr. Kundrák János^{*}, Dr. Pálmai Zoltán^{**}, Dr. Gyáni Károly^{**}

ABSTRACT

Hard turning is widely used to complete the machining of the hardened surfaces of machine parts that are exposed to a high bearing force and an increased risk. Occasionally a hard, so-called white etching area (WEA) that may not be etched and is usually harmful develops. In this paper we deal with the technological conditions of the development of this white etching area on the surface of the bore hole of cogwheels made of 20MnCr5 (W.Nr. 1.7147) steel. We conducted experiments with various technological parameters. As a result of these experiments, we elaborated an empirical formula by which we can decide if a white etching area can be expected to develop in a particular case.

1. BEVEZETÉS

Közel három évtizede, hogy az edzett acélok forgácsolhatóságának vizsgálata a megmunkálások kutatásának kiemelkedő iránya lett. Az edzett felületeket korábban abrazív szerszámokkal, elsősorban köszörüléssel munkálták meg. A bórnitrid alapú szerszámok megjelenésével azonban lehetővé vált, hogy az abrazív eljárások mellett más forgácsoló eljárásokkal – határozott élű szerszámokkal – is megmunkáljuk az edzett acélokat. E fejlődési szakasz kezdetén az egyélű szerszámokkal végzett forgácsolás elméleti és technikai lehetőségeit vizsgálták. Ekkor az alkatrészekre vonatkozó követelmények még többnyire extrémnek minősülő feltételek (kis forgácskeresztmetszet, nagy forgácsoló sebesség, különleges anyagok, újszerű kopásviszonyok, stb.) mellett voltak elérhetők.

A fejlesztések eredménye, hogy ma már rendelkezésre állnak azok a forgácsoló gépek, szerszámok és technológiák, amelyekkel ezek a feltételek a precíziós megmunkálásokban megszokottá váltak.

A köbös bórnitrid (CBN) szerszámok hozzáférhetőségének (konstrukció, ár, stb.) javulása ezt a megmunkálást, – a keményforgácsolást – iparilag jelentős eljárássá tette. A technológia fejlesztését nemcsak a bonyolultabb felületkombinációk megmunkálásának lehetősége ösztönözte, hanem a keményfelületek számának és/vagy keménységének állandó növekedése, mert ezáltal is növelhető azok tartóssága, és ezen keresztül a termékek megbízhatósága. Megfigyelhető, hogy egyre gyakrabban edzenek be felületeket a technológiai folyamat egyszerűsítéséhez is (pl. fogaskerékgyártás, ahol a fogaskeréktest valamennyi felületét edzik).

A keményfelületek befejező megmunkálása során jelentős mechanikai és termikus hatások lépnek fel, az igen nagy, gyors deformáció akár 10^6 °C/s nagyságrendű lokális felmelegedéssel, majd 10^4 °C/s sebességű lehüléssel párosul. Ez meghatározza a keletkezett felületi réteg állapotát, tulajdonságait, tehát az alkatrészek funkcionális viselkedését, kopásállóságát, kifáradási határát is. A megmunkálás után létrejött felületi rétegnek leggyakrabban maradó feszültségi állapotát, mikrokeménységét és az esetleges szövetszerkezeti változásait, egyszóval *integritását* elemzik a kutatók [1, 2]. A felszínen jelentős szövetszerkezeti változások következnek be, amelynek tipikus esete a több mint fél évszázadai ismert, úgynevezett fehér réteg kialakulása (angol betűszóval WEA: White Etching Area). Rendkívüli keménysége és finomszemcsés mikroszerkezete miatt a szokásos maratószerek hatástalanok, és a csiszolatokon maratlan marad. A fehér réteg alatt gyakran található egy sötétebb színű lágy, túlmaratott réteg is (angol betűszóval DEA: Dark Etching Area), amely nagyhőmérsékletű megeresztési folyamatra utal.

Keményesztergálásnál a forgácsleválasztás körülményei a köszörüléshez hasonlítanak. A fellépő rövid idejű termomechanikus hatások miatt keményesztergálásnál is számítani kell fehér réteg kialakulására. A köszörüléssel való hasonlóság ellenére azonban említésre méltó különbségek is vannak. Köszörülésnél a nagyoló fokozatban alakul ki fehér réteg, amelyet a simító és kiszikráztató fokozatban leköszörülnek. Keményesztergálásnál viszont a simító fokozatban is lehetnek olyan technológiai körülmények,

^{*} egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gépjáratstechnológiai Tanszék
^{**} ny. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépjáratstechnológiai Tanszék

hogy fehér réteg keletkezik. Kőszőrülésnél a munkadarabot érő hőimpulzus szakaszos, és a sok forgácsoló szemcse miatt megosztott, keménysztergálásnál viszont az egyélű szerszám miatt folyamatos és koncentrált. Ezért a hőhatás intenzívebb, amelynek hatását fokozza az igen rövid érintkezési idő is. A szakirodalom szerint jellemző adatként el lehet fogadni, hogy míg kőszőrülésnél az érintkezési idő 28 ms, addig keménysztergálásnál csak 0,08 ms [1, 3]. Az extrém nagy felmelegedési és lehülési sebességből is lehet következtetni arra, hogy a felszíni rétegben jelentős szövetszerkezeti változások történnek, és megjelenik a fehér réteg is. Ez a körülmény a kutatók fehér réteg iránti érdeklődését jelentősen fokozta. Az utóbbi tíz éven több cikk jelent meg a keménysztergálás fehér rétegről, mint 50 év alatt a kőszőrülésről [4].

A fehér réteg jelenléte többnyire káros, mert rontja az alkatrészek megbízhatóságát, az ilyen alkatrészek beszerelése kockázattal jár. Ennek oka, hogy a maradófeszültséggel terhelt és rideg, igen kemény anyagréssz az igénybevételekből származó alakváltozást csak korlátozott mértékben képes elviselni. A húzó-, hajlító- és csavaró igénybevételek hatására hajszállrepedések keletkezhetnek. Ezen kívül fennáll a lepattozás veszélye is, amely berágódásokhoz vezet. A fehér réteg kedvezőtlenül befolyásolja a kifáradási határt, és csökkenti a feszültségkorróziós repedésekkel szembeni ellenállást. Egyetlen kedvező tulajdonsága, hogy csúszó súrlódásnál javíthatja a kopásállóságot [5, 6, 7]. E munka célja segítséget adni annak megítéléséhez, hogy egy megtervezett, vagy már alkalmazásba vett keménysztergálási technológia előidézheti-e a felületi fehér réteg kialakulását.

2. ÖSSZEFÜGGÉSEK A FEHÉR RÉTEG KIALAKULÁSA ÉS A FORGÁCSOLÁSI PARAMÉTEREK KÖZÖTT

A szakirodalom áttanulmányozásával összegyűjtöttük azokat a legfontosabb tapasztalatokat, amelyek a fehér réteg kialakulásáról fellelhetők.

Első közelítésben szinte minden kutató a szerszámkopást tette felelőssé, ugyanis új szerszámnál sohasem alakult ki fehér réteg. Erősíti a kopás főszerepét, hogy vannak esetek, amikor függetlenül az anyagleválasztási sebességtől ($Q'_{w,elm}$, mm³/s, tehát nem forgácsolósebesség), ugyanakkora hátkopásnál képződött fehér réteg. Azért az anyagleválasztás sebességének is lehet hatása, mert előfordul, hogy nagyobb anyagleválasztási sebességnél kisebb hátkopásnál jelentkezik fehér réteg. Tény az is, hogy egészen csekély, vagyis simítási értékeknél is megjelenhet fehér réteg, azonban nem lehet korrelációt felfedezni a Q'_w nagysága és a fehér réteg megjelenése között.

Igen fontos szerepe van az r_β élsugárnak, sajnálatos módon azonban kevés szakirodalom közli r_β értékét.

Schmidt részletesen foglalkozik vele [8]. Például $r_\beta=35 \mu\text{m}$ -nél még nincs fehér réteg, de teljesen azonos technológiai körülmények között és $VB_c=15 \mu\text{m}$ hátkopás esetében $r_\beta=75 \mu\text{m}$ -nél már van. Ez azért fontos megfigyelés, mert az r_β élsugár a kereskedelmi szerszámokon eléggé változatos, Schmidt szerint $3 \mu\text{m}$ és $120 \mu\text{m}$ között váltakozik. Rendkívül fontosnak tartják az élgeometria pontos rögzítését Jeffrey D. és társai is. Ők az élsugár alapján három csoportba sorolják a CBN szerszámokat [9]:

- fazetta nélkül Up-Sharp Edge; $r_\beta < 25 \mu\text{m}$,
- fazettás UP-Sharp Edge; $r_\beta < 50 \mu\text{m}$,
- nagy élsugarú (Honed Edge) szerszámok $r_\beta = 100 \dots 150 \mu\text{m}$.

Néhány kutató a forgácsolósebesség fontosságát hangsúlyozza. Akcan és társai azt állítják, hogy nem a hátkopás, hanem a forgácsolósebesség emelése okozza a fehér réteg kialakulását: 100 m/min-ről 200 m/min-ra emelve a forgácsolósebességet, már egyharmadnyi hátkopásnál megjelenik a fehér réteg [5].

Természetesen a megmunkált anyagnak is jelentős hatása lehet, mert bizonyított tény, a fehér réteg kialakulásának egyik feltétele, hogy a forgács leválasztásának pillanatában az anyag hőmérséklete haladja meg az A_{C3} átalakulási hőmérsékletet, és így közel homogén ausztenit alakulhasson ki [5, 10]. Pl. két karbidokban gazdag anyag, az ISIM2 [5] és a VIMVAR M50 [11] esetében, amelyeknél elég nagy volt az anyagleválasztás sebessége ($Q'_{w,elm}=50$ ill. $30 \text{ mm}^3/\text{s}$) és a hátkopás ($VB_c=0,2 \text{ mm}$ ill. $0,3 \text{ mm}$) is, még sincs fehér réteg. Ennek egyértelmű oka, hogy a homogén ausztenites szerkezet kialakulásához a karbidok lassú oldódása miatt $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, illetve $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ szükséges, amelyet nem ér el a forgácstő hőfoka.

Amikor a kutatók figyelme a fellépő erőhatások felé fordult, azt az érdekes megállapítást tették, hogy a fehér réteg keletkezését a szerszám hátfelületén a súrlódási teljesítménnyel lehet kapcsolatba hozni. Brandt [7] szerint ez a P'_α hátfelületi fajlagos súrlódási teljesítmény a

$$P'_\alpha = \frac{\mu \sqrt{F_p^2 + F_f^2} v_c}{l_c} \quad (\text{W/mm}) \quad (1)$$

képlettel számítható, ahol F_p passzív erő, az F_f előtolóerő, v_c forgácsolósebesség, $\mu=0,26$ súrlódási tényező, l_c a szerszámél érintkezési hossza:

$$l_c = r_e \arccos \left(1 - \frac{a_p}{r_e} \right) + \frac{f^2}{8r_e}, \quad (2)$$

és itt r_e szerszám csúcsgugár, a_p a fogásmélység és f az előtolás. Ezekkel Brandt azt az érdekes, azóta mások által is megerősített megállapítást tette, hogy fehér réteg akkor keletkezik, ha $P'_\alpha \geq 150 \text{ W/mm}$.

3. KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK

A kísérleti fogaskerekek anyaga DIN szabvány szerinti 20MnCr5 (W.Nr. 1.7147) betétben edzhető ötvözött acél volt, amelynek fő ötvözői: 0,2% C, 1,2% Mn és 1,2% Cr. Betétdzés után a külső réteg kemény és kopásálló, a belső magrészt pedig szívós marad, miáltal az alkatrész jelentős terheléseket képes elviselni. A 900...950 °C-on végzett cementáláskor a felszíni réteg előírás szerint 0,6 mm mélyen C_{ban} feldúsul 0,5...0,6 %-ra, de elérheti a 0,9...1,0 %-ot is. Edzés és megeresztés után a keménység 59...63 HRC.

A fogaskerekek furatátmérője: $d_w=48$ mm, a szerszám gép EEN 400 eszterga ($P=11$ kW). A forgácsolószerszám: PCBN CNGA 120408 7020 bevonatos; a forgácsoló szerszám élgeometriája: $\gamma_n=-6^\circ$; $\alpha_n=6^\circ$; $\kappa_r=95^\circ$; $\varepsilon_r=80^\circ$; $r_e=0,8$ mm; fazetta: $0,1x(-20^\circ)$. Technológiai adatok: $v_c=90, 120$ m/min, $f=0,05-0,20$ mm/ford., $a_p=0,1-0,4$ mm.

Az eredmények egy részét az 1., 2. és 3. ábra foglalja össze. Megállapítható, hogy a fehér réteg nem egyenletes vastagsága és nem is teljesen összefüggő [12]. Ez viszont még azt az előnyt is megkérdőjelezi, hogy a felületet kopásállóra teszi. Az viszont beigazolódott, hogy valóban érvényes szabályként fogadható el: a szerszámon mérhető nagyságú hátkopás kialakulásakor akkor képződik fehér réteg, ha $P'_\alpha \geq 150$ W/mm.

4. TECHNOLÓGIAI SZABÁLY A FEHÉR RÉTEG KELETKEZÉSÉNEK ELKERÜLÉSÉHEZ

Az erőmérési adataiból meghatározható a keménysztergáláshoz egy $F_d=C_F \cdot v^x \cdot f^y \cdot a_p^z$ alakú empirikus függvény. Esetünkben $C_F=244,4$ N, $x=0,3$, $y=0,59$ és $z=0,31$. Ez azzal az előnnyel jár, hogy a fajlagos hátkopási súrlódási teljesítmény számítására is lehet egy empirikus képletet kialakítani, amely az ilyen keménységűre edzett anyagoknál szélesebb körben is erőmérések nélkül alkalmazható:

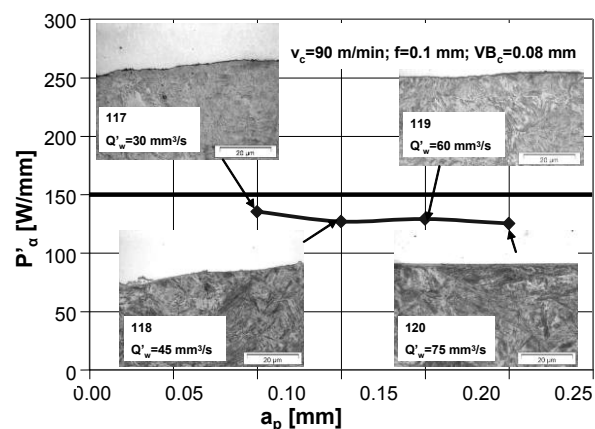
$$P'_\alpha \cong 1,06 \frac{v^{1,3} f^{0,31} a_p^{0,59}}{l_c}, \quad (3)$$

ahol l_c a (2) képlettel számítható.

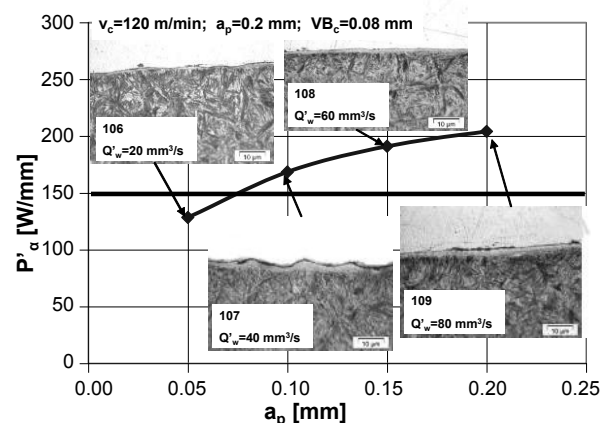
Összehasonlítottuk P'_α mért és a (3)-mal számított értékeit, amelyet a 4. ábra mutat be. A mért és számított értékek illeszkedése a forgácsolásnál megszokott nagy szórások figyelembevételével jónak mondható, és világosan látszik a szabály, amely szerint fehér réteg keletkezése valóban akkor várható, ha $P'_\alpha \geq 150$ W/mm.

Ilyen módon egy olyan empirikus képlet birtokába jutottunk, amelynek segítségével már előre, a technológiai adatok birtokában eldönthető, hogy várható-e fehér réteg képződése. Itt a hátkopást

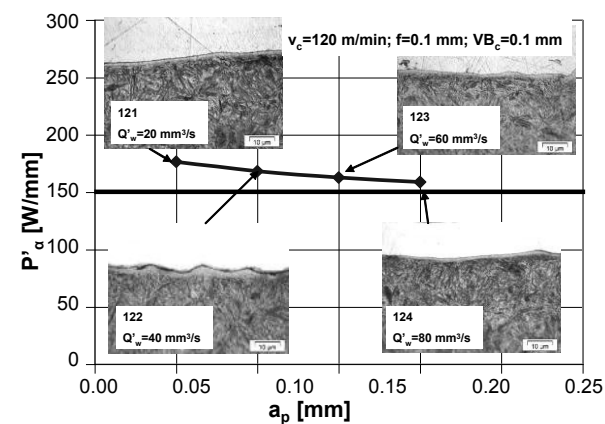
főleg külön figyelembe venni, mert a szerszám a gyártás során természetesen kopik, tehát az a feltétel, hogy a fehér réteg csak a hátkopási megjelenségek várható, előbb-utóbb feltétlenül teljesül.



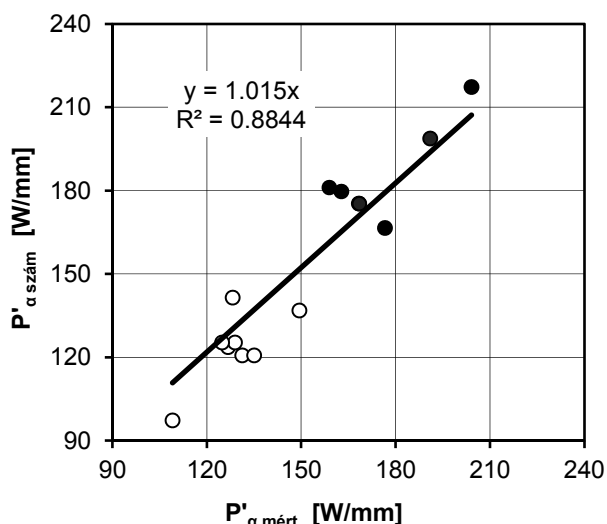
1. ábra. Fehér réteg nem keletkezett ($P'_\alpha < 150$ W/mm).



2. ábra. Három felületen fehér réteg van, ahol $P'_\alpha > 150$ W/mm.



3. ábra. Minden felületen fehér réteg van ($P'_\alpha > 150$ W/mm).



4. ábra. A P'_α értékek illeszkedése
(a felt köröknél van fehér réteg).

ÖSSZEFOGLALÁS

A keménysztergálás az edzett alkatrészek befejező megmunkálására egyre szélesebb körben használatos. E technológiai műveletnél gyakran kialakul az ún. fehér réteg, amely a köszörülésnél már évtizedek óta ismeretes, és megjelenését általában kedvezőtlennek tartják. A szakirodalmi adatok ellenőrzése céljából forgácsolási kísérleteket végeztünk betétben edzhető ötvözt, edzett fogaskerekek belső hengeres felületének esztergálásával. Megállapítottuk, hogy a fehér réteg nem egyenletes vastagságú és nem is teljesen összefüggő. Ez még azt az előnyt is megkérdőjelezi, hogy a felületet kopásállóvá teszi. Az viszont beigazolódott, hogy valóban érvényes szabályként fogadható el: a szerszámon mérhető nagyságú hátkopás kialakulásakor akkor képződik fehér réteg, ha $P'_\alpha \geq 150$ W/mm. Az erőméréseink eredményeinek felhasználásával kialakítottunk egy olyan empirikus képletet, amellyel a technológiai adatok ismeretében külön erőmérés nélkül is eldönthető, kell-e számítani fehér réteg kialakulására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka 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.

Köszönet a lektoroknak

A GÉP jelen számában szereplő cikkek lektoráltak. Ezúton is köszönetet mondunk a lektoroknak a szakmai segítségükért.
Dr. Bányai Tamás, Bokros István, Bordás Róbert, Dr. Csernák Gábor, Dr. Döbröczöni Ádám, Dr. Dömötör

Ferenc, Dr. Farkas József, Dr. Fáy Árpád, Dr. Gyulai László, Dr. Hornyák Margit, Dr. Kovács Béla, Dr. Kovács György, Dr. Kovács Miklós, Dr. Mikó Balázs, Dr. Molnár András, Dr. Orbán Ferenc, Dr. Rác Pál, Dr. Szabó Ferenc, Dr. Szemmelveiszné Dr. Hodvogner Katalin, Dr. Szirbik Sándor, Dr. Varga Gyula

IRODALOM

- [1] 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
- [2] 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
- [3] TÖNSHOFF HK, KARPUSCHEWIKI B, BORBE C: Comparison of Basic Mechanisms in Cutting and Grinding of Hardened Steel. *Prod. Eng.* Vol IV/2, 1997, pp.5-8
- [4] BRINKSMEIER E, BROCKHOFF T: White Layers in Machining Steels, 2. *Int. Conf. On High Speed Machining*, PTW TV, Darmstadt, 1999, pp.7-13
- [5] AKCAN S, SHAH S, MOYLAN SP, CHABRA PN, CHANDRASEKAR S, FARRIS TN: Characteristics of white layers formed in steels by machining. *ASME Med.* Vol. 10. Manufacturing Science and Engineering, Nashville TN, 1999, pp.789-795
- [6] BARRY J, BYRNE G: TEM study on the surface white layer in two turned hardened steels. *Materials Science and Engineering*, Vol. 325/1,2, 2002, pp.356-364
- [7] BRANDT D.: Randzonenbeeinflussung beim Hartdrehen, *Dr. Ing. Dissertation*, Institute for Production Engineering and Machine Tools, Universität Hannover, 1995.
- [8] SCHMIDT, J.: Mechanische und Thermische Wirkungen beim Drehen Gehärteter Stähle. *Dr.-Ing. Dissertation*, Universität Hannover, 1999.
- [9] JEFFREY DT, SHREYES NM, ROBERTA AP, THOMAS RW: 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] Y KEVIN CHOU, C. 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.
- [12] J. KUNDRÁK, Z. GÁCSI, K. GYÁNI, V. BANA and G. TOMOLYA: X-ray diffraction investigation of white layer development in hard-turned surfaces, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, DOI 10.1007/s00170-011-3811-7