

ÖNTÉSZETI KORRÓZIÓÁLLÓ SZUPER DUPLEX ACÉL FORGÁCSOLÁSA PVD BEVONATOS KEMÉNYFÉMLAPKÁVAL

CUTTING OF THE CORROSION-RESISTANT SUPER DUPLEX CAST STEEL WITH PVD LAYERED HARTMETAL CUTTING TOOL INSERT

Horváth Richárd, PhD; Fábrián Enikő Réka, PhD; Nagy András István, Óbudai Egyetem Bánki Donát
Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Terek Pál, PhD, Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományi Kar

ÖSSZEFOGLALÁS

Az ötperces folyamatos forgácsolás során egy öntészeti szuper duplex acélt munkáltunk meg CNC esztergán és detektáltuk a fellépő erőket. A kísérlethez két keményfémlapka minőséget és két különböző PVD bevonatot használtunk fel, szárazon és hűtő-kenő folyadék alkalmazásával.

ABSTRACT

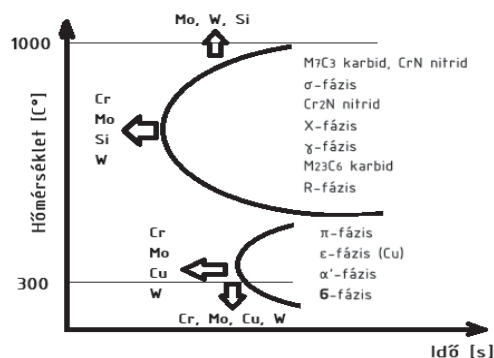
A cast super duplex steel was machined on a CNC lathe with two carbide grades tool and two different PVD coatings. There have been detected the involved forces during five-minute continuous machining, with and without cooling and lubricant liquid.

1. A DUPLEX ACÉLOK ALKALMAZÁSA NAPJAINKBAN ÉS FORGÁCSOL- HATÓSÁGI PROBLÉMÁIK

A duplex acélok a XX. század korszerű acélminőségei közé sorolhatók. Kifejlesztésük az 1920-as évekre, de alkalmazásuk igazán csak az 1970-es évek utánra tehető ugyan is az erőteljes ötvözöttség mellett kicsi karbon tartalomra van szükség. A gazdaságos előállításához szükséges volt az AOD (Argon-Oxygen Decarburization) eljárás [1] megjelenésére. Napjainkban már nagyobb teret nyert alkalmazásuk. Fontos hatást gyakorolt elterjedésükre a nikkell árnyékának növekedése, ugyanis egy azonos korróziós ellenálló képességgel rendelkező auszteni- acélhoz nagyobb mennyiségű nikkelle van szükség. Korróziós ellenállásukat a PRE_N index (pitting index, 1 összefüggés) [2] írja le, mely alapján osztályozzuk: duplex (DS $PRE_N=25-38$), szuper duplex (SDS, $PRE_N=39-47$) és hiper duplex (HDS, $PRE_N=48-$) csoportokba.

$$PRE_N = Cr(\%) + 3,3Mo(\%) + 16N(\%) \quad (1) \quad [2]$$

A kiváló lyukkorróziós tulajdonságuk és kémiai közegekkel szembeni ellenállásuk miatt gyakorta alkalmazzák petrokémiai rendszerekhez, szivattyú házak és járókerekek alapanyagaként [1]. A kettős auszteni- ferrites szövetnek köszönhetően nagyobb szilárdsággal bírnak, mint az auszteni- társaik, emiatt a kor követelményeinek megfelelően előszeretettel alkalmazzák súlycsökkentett szerkezetek építésére, erre a legjobb példák a csökkentett falvastagságú kémiai tartályok és teljes hajó szerkezetek. Belgiumban több hídszerkezetet is készítettek már duplex acélból.

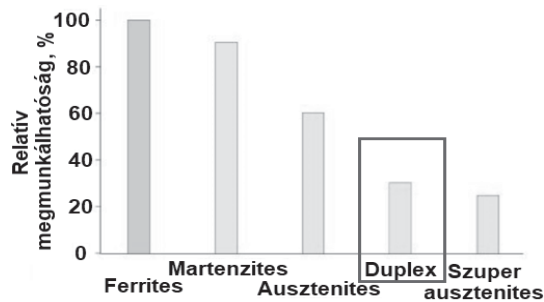


1. ábra. Duplex korrózióálló acélok C-görbéjét befolyásoló ötvözők és különböző hőmérsékleten megjelenő kiválások [1]

Az előnyös tulajdonságaik mellett viszont megmunkálhatóságuknál már problémákba ütközhetünk. Megfelelően jól hegeszthetőek, a kiválásokra nagy figyelmet kell fordítani hűtéskor, de ez alkalmazhatósági hőmérsékletüknek is határt szab [2].

A duplex acélok forgácsolását több jelenség is nehezíti. Az auszteni- jellegből fakadóan élrátétesedés, szívós szélkopás, a ferrit adta szilárdság miatt homlokkopás a kísérőjelenség [3]. Az élrátét képződés egy komoly adhéziós kopást vált ki, ami azt jelenti, hogy a forgácsolt fém hidegheggedéssel feltapad

a lapkára, majd egy bizonyos méretet elérve leszakad és ez után a folyamat ismétlődik. Ettől a kopásfajtától viszonylag hamar lekopik a bevonat, mert amikor leválik a felapadt alapanyag, akkor képes a bevonatot leszakítani és ezzel megszünteti a bevonat izolációs hatását és a keményfémek érik ezek után az igénybevételek [4].



2. ábra. A különböző szövetszerkezetű acélok relatív megmunkálhatósága a ferriteshez viszonyítva [5]

A homlokkopást a forgács folyamatos sűrűsödése váltja ki a homokfelületen, amely ezáltal anyagvesztést szenved, a jelenséget segíti az adhéziós kopás. A szívós szélkopást az alapanyag keményedése [6] okozza, melyet a forgácsolás közben fellépő alakítás okoz. A forgács ezen fajtáját sorjának nevezzük, amely méréseink alapján másfélszer keményebb, mint az alapanyag. Az igénybevételek enyhítésére a sűrűsödési viszonyok megváltoztatása a kulcs, az az hűtő- és kenőfolyadék alkalmazása vagy megfelelően inert bevonat alkalmazása.

2. AZ 1.4517 ACÉL ISMERTETÉSE ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZERE

Az általam vizsgált GX2CrNiMoCuN 25-6-3-3 alapanyagokat Ø52x300 mm-re előnagytam, ezzel az ötvénykérgét eltávolítottam és az ütésből adódó forgásszimmetria hibát is megszüntettem, amivel az ütés okozta erőingadozást is kiküszöböltem az első fogásvételnél. Nedvesforgácsoláshoz árasztásos módszert alkalmaztunk 5%-os kenőanyag tartalommal. Minden vizsgálatnál a lapkák 5 perces folyamatos forgácsolást végeztek a következő technológiai paraméterekkel: $v_c=100$ [m/min]; $a_p=1$ [mm]; $f=0,175$ [mm/ford.]. A keményfém lapkák CNMG 120408E geometriával és Grade 564 (76.8 HRC) és Grade 902 (80.6 HRC) alapanyag minőséggel rendelkeznek (gyártói jelölés). A bevonatok egyedileg készültek, mind két típusnál egy

AlTiN 2 µm-es alaprétek kerültek fel és erre az egyik esetben egy ZrN, másik esetben TiSiXN PVD bevonat került rá. Az összesített rétegvastagság a forgácsolófelületeken 4 µm volt, melyet Caloteszttel ellenőrizünk.

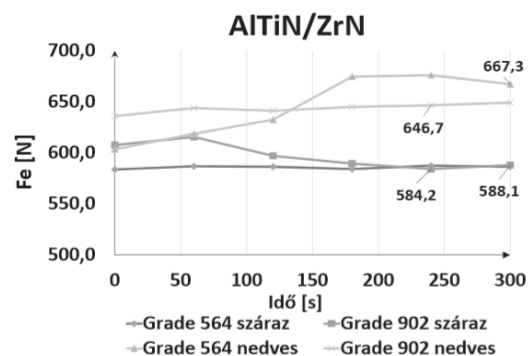
1. táblázat. A vizsgálathoz alkalmazott bevonat típusok és azok ismertető tulajdonságai

Bevonat	AlTiN/ ZrN	AlTiN/ TiSiXN
Rétegv. [µm]	4	4
Keménység [HV _{0,2}]	2200	2800
Coulomb surl. (µ)	0,35	0,6
Szín	Arany	Bronz
Max. hőm. [°C]	1000	1100

A fellépő erőket egy Kistler 9251B erőmérővel detektáltuk 500 Hz adatrögzítő frekvencián, ez a mintavételi gyakoriság elegendő adatot szolgáltat az erők változásának követéséhez. Az állandó forgácsolósebességet a CNC vezérlés biztosította.

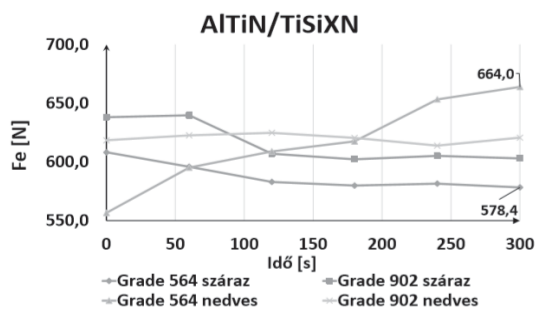
3. FORGÁCSOLÓERŐK

A vizsgálat során fellépett erőket komponensként detektáltunk, mely F_c főforgácsoló erőből, F_r előtolás irányú és F_p passzív erőből állt. A komponensekből eredő erőt számítottunk és ezt vizsgáltuk. Sok esetben azt várnánk, hogy hűtőfolyadék alkalmazásával kisebb erők lépnek fel, ugyanis jobbak a sűrűsödési viszonyok és a forgácsoló lapka is hosszán megőrzi forgácsolóképességét. A mérések alapján több esetben is tapasztaltuk, hogy szárazforgácsolásnál csökkennek az összesített erő értékek, ennek oka feltételezhetően a hőmérséklet okozta anyaglágyulás.



3. ábra. AlTiN/ZrN bevonattal ellátott forgácsoló lapkáknál fellépő erők változása

A diagrammokról (3. és 4. ábra) jól leolvasható, hogy mely bevonat-keményfém kombinációnál lép fel folyamatos, erődiagrammon kimutatható kopás, ez a Grade 564 alapanyag típusra volt jellemző. A Grade 902-nél jellemzően a terhelőerők nem mutattak nagymértékű növekedést, inkább konstans jellegűek, illetve csökkenést tapasztaltunk szárazforgácsolásnál.



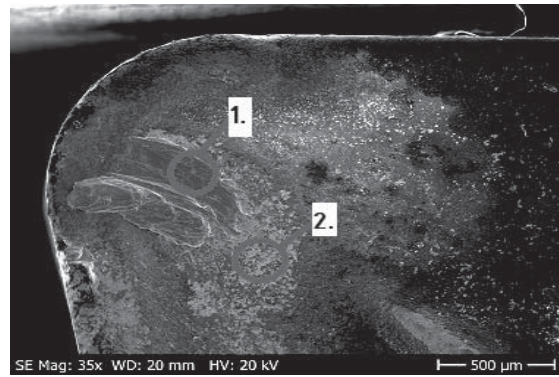
4. ábra. AlTiN/TiSiXN bevonatos lapkával való megmunkálás során mért erőértékek

4. HOMLOKFELÜLETI KOPÁSOK

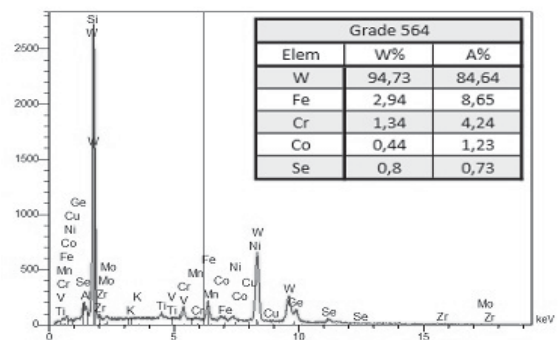
A homlokfelület kopása a forgácsolás velejárója, a forgács ezen a felületen terelődik és a homlokfelület geometriája töri meg a forgácsot. Ez alatt a forgács sűrűlödik, az ausztenites anyagcsoportra jellemző adhéziós kopással [3] veszi igénybe a homlokrészt. A hidegfelhegedéssel nagy igénybevétel éri a bevonatot, mert nem csak dörzsülés okozta hatásnak kell ellen állnia, hanem a felhegedt élrátét leváláskor le akarja tépni a bevonatot a keményfém felületéről. A hűtés és kenés alkalmazása is nagyban fékezi ezt a káros folyamatot. Forgácsolás után pásztázó-elektronmikroszkóppal vizsgáltuk a használt lapkákat.

Az 5. ábrán a mérések alapján a világos szürke területeken lekopott a bevonat, ezt igazolja a 2-es pontot kiértékelő 6-os ábra, mert magas wolfram összetételt mértem, mely alapeleme a forgácsoló lapkáknak a kobalt mellett.

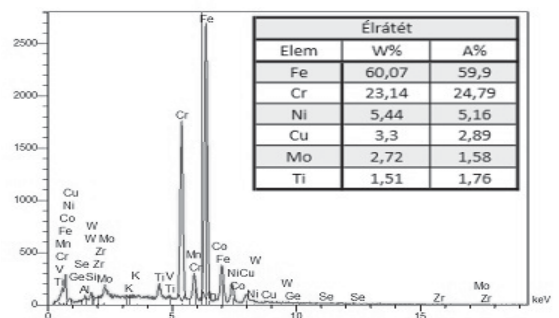
A közepesen szürke területeken jelentős hányadban találtunk vasat és krómot (7. ábra), mely egyértelműen az alapanyagra jellemző és az összetételi arány is közel az acélnak megfelelő arány. A mért eredmények egyértelmű bizonyítékok az adhéziós kopásra és az élrátét képződésre. A fekete árnyalatú területek elemzése a bevonat összetételét tükrözte vissza.



5. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapkáról készült SEM felvétel szárazforgácsolás után



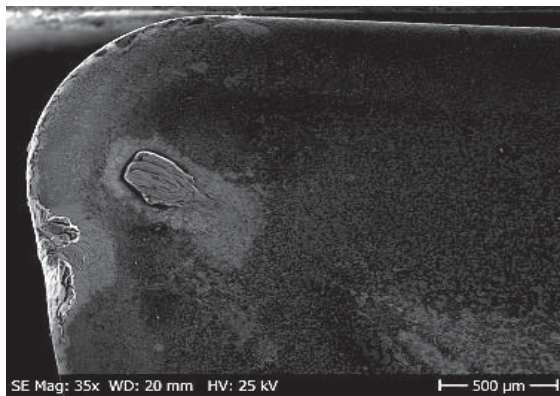
6. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapka kopott részén (2. pont) történt mérés spektruma és összetétele tömeg- illetve atomszázalékosan kifejezve



7. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapka felületén a közepszürke rész (1 pontban) való mérés spektruma és összetétele tömeg- illetve atomszázalékosan kifejezve

A hűtő-, öblítő- és kenőfolyadékok (HÖK) szerencsére látványos mértékben csökkentik az adhéziós folyamatot. A hűtés segítségével a hőmérséklet emelkedést visszaszoríthatjuk, ezzel gátat szabunk a megemelkedett hőmérsékletből fakadó összehegedésnek. A hűtőhatást főként a

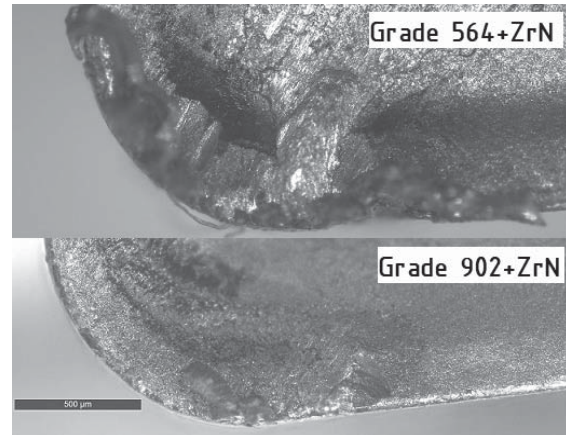
folyadék elpárolgása adja, mert a gőzfázisba alakulás energia igénye nagyobb, mint a hevítési energia. A párolgás energia igénye miatt csak kis mennyiségű hűtőfolyadék fogy a forgácsolás alatt [4]. A kenőhatást az fejtí ki, hogy az olajmolekulák beülnek a felület gödreibe és ezzel csökkentik a forgács és a bevonat érintkezési felületét. A legkedvezőbb lenne, ha tisztán folyadék sűrlődés alakulna ki, de árasztásos technológiával a felszáz sűrlődés érhető el. A mérésben is megmutatkoztak a HÖK jótékony hatásai. A 8. ábrán látható, hogy csökkent az élrátétes terület, ami a várható hosszabb és stabilabb éltartamot is jelzi.



8. ábra. Grade 564+AlTiN/TiSiXN bevonatos forgácsolólapka SEM felvétele nedvesforgácsolás után

Tovább vezetve a HÖK alkalmazásának hatását, modern magasnyomású és koncentráltan a hát- és homloklafelületre irányított folyadék sugárral jobb forgácsolás és közel tiszta folyadéksűrlődés érhető el, melynek egy speciális esetében a forgácsolásban egy hidraulikus ék is kialakul. Ez a modern HÖK alkalmazás előnyös duplex és ausztenites acélok megmunkálásánál [5].

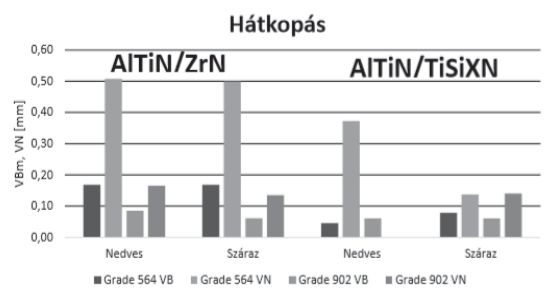
A szerszám alapanyag megfelelő megválasztása is fontos, ami nemcsak a megfelelő szilárdsági tulajdonságokat jelenti, hanem a felvitt bevonattal való összhangot is. A megfigyelés alapján fontos figyelembe venni az adhéziót a szerszám alapanyag és a bevonat között, mert nagy értékű különbségeket eredményez, még akkor is, ha a két alapfém tökéletesen megfelelne paramétereinek alapján. A 9. ábrán a hatás jól kimutatható, a technológia, a bevonat és a hűtési körülmények azonosak voltak, csak a keményfém alapanyag különbözött.



9. ábra. AlTiN/ZrN bevonatos lapkák sztereo mikroszkópos felvétele szárazforgácsolás után 50x-es nagyításban

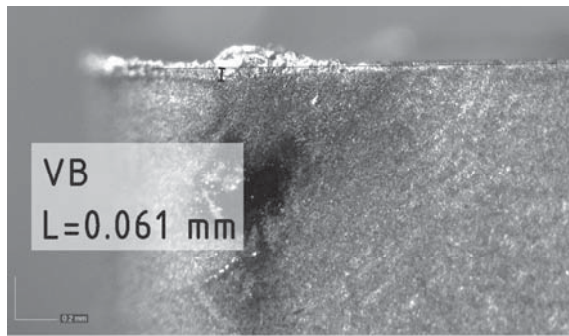
5. HÁTKOPÁS

A forgácsolólapkák alkalmazhatóságának fontos jellemzője a hátkopás (VB). A szakirodalom is mindig erre az értékre támaszkodva határozza meg az éltartamot. A hátkopás megengedett értékét szerszámanyag minőséghez szokták rendelni. Keményfémek esetén 0,2-0,8 mm, kerámiák esetén pedig maximálisan 0,2-0,3 mm az általánosan elfogadott érték [4]. A katalógusokban megadott forgácsolósebesség alapértékeket is úgy adják meg, hogy 15 min forgácsolásban töltött idő alatt ne lépje át a kopási küszöböt. Ha túllépjük a megengedett kopást, akkor az erőszükséglet rohamosan növekedni fog és ez méretpontatlanság mellett, könnyen töréshez is vezethet. A vizsgált szerszámoknál a kopás 5 perc után nem lépte át a 0,2-es küszöböt, de több esetben megközelítette. A forgácsolás közbeni kopásokról nincsenek adataink, csak a végállapotban. A hátkopások mértéke hasonlóan alakultak, mint a homloklafelületi kopások. Ezek az értékek is adhéziós tulajdonságokhoz vezetnek.



10. ábra. A mért maximális hátkopás (VB_{max}) és szélkopás (VN) értékek oszlopdiagramja

Kiemelendő, hogy Grade 902+ AlTiN/TiSiXN nedves körülmények között nem csak a legkisebb értékű hátkopás szenvedte el, hanem szélkopás se található rajta.

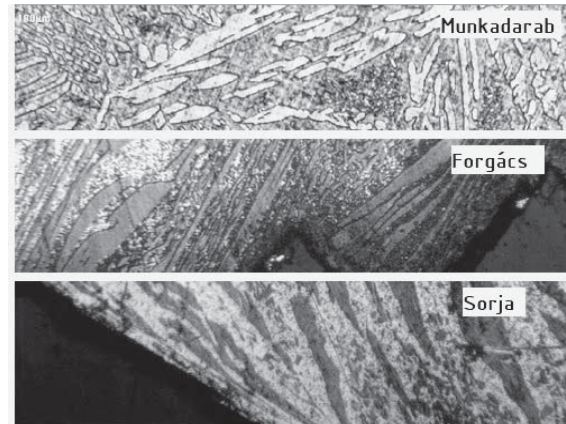


11. ábra. Grade 902+AlTiN/TiSiXN kombináció hátfelületi képe nedves forgácsolás után 50x-es nagyításban

A duplex acélok ausztenites anyagcsoportra jellemző tulajdonsága a szívósság, ami a forgácsolás során bevitt alakítás hatására keményedik és nehezen törik a forgács. Ebből adódóan folyóforgácsot ad általában és sorja képződés is tapasztalható. A sorja nemcsak a szívós szélkopás (VN) okozója, hanem mellette eltávolítása is problémát jelent. Ezek az élesorjás élek veszélyt jelentenek a gépkezelőre és plusz munkafolyamatot is igényel az eltávolításuk. A méréseim során több esetben is mérhető szélkopást tapasztaltunk a hátfelületen. Az érték sokszor kétszeresét is meghaladta a hátkopásnak. A forgácsmintáknál végzett metallográfiai vizsgálatok (12. ábra) és mikrokeménység mérések (2. táblázat) eredményei rámutattak arra, hogy a sorja keménysége nagyobb lett, mint a forgács vagy az alapanyag keménysége. Feltehetőleg ez a jelenség (sorja keményedése) felelős a munkadarab legkülső fogásvételi tartományában tapasztalt nagy szélkopásért.

2. táblázat. A forgácsolás hatása a mikrokeménységre

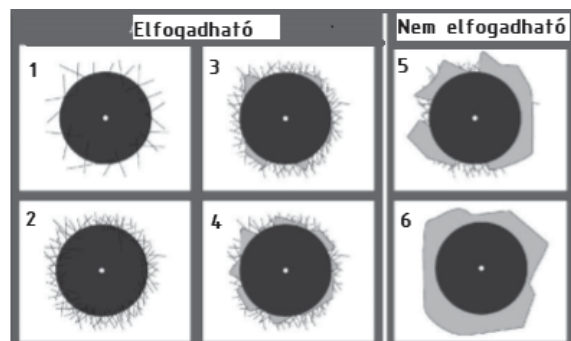
Mért minta	Lenyomat átlók átlaga [μm]	Számolt átlag keménység [$\text{HV}_{0,2}$]
Munkadarab	41,5	211,21
Forgács	34,69	302,32
Sorja	32,47	344,97



12. ábra. Metallográfiai csiszolatok a munkadarabról, forgácsról és sorjáról. Marószér Beraha '1 reagens

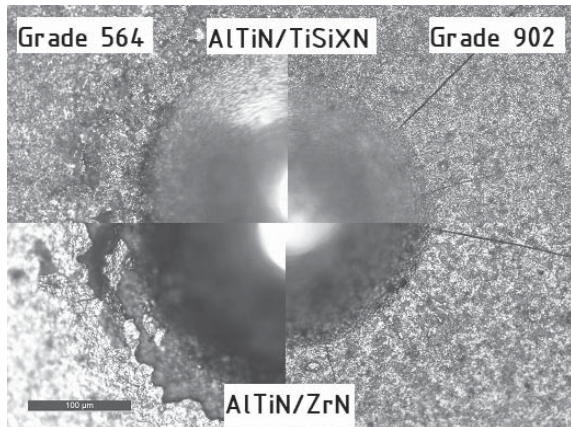
6. ADHÉZIÓS VIZSGÁLAT

A lapkákon alkalmazott bevonatok minősítésére több fajta eljárást találtak ki. Én egy Rockwell alapú vizsgálatot választottam, melyet széleskörben alkalmaznak. Szakirodalomban Daimler-Benz módszernek is nevezik, VDI-3198 számmal is hivatkoznak rá [5]. A 150 kg-os és 10 s terhelés után mikroszkóp alatt vizsgálható a bevonat mikrorepedeztségének mértéke, nem megfelelő esetben a leválása. A módszerhez tartozik egy hatfokozatú skála, mellyel megfelelőnek/nem megfelelőnek lehet minősíteni az alapfém és a bevonat adhézióját. Az adhéziós tulajdonságok megállapításához gyakorta alkalmazzák még a karctesztet is. A forgácsolási viszonyok szimulációjához és a bevonat vizsgálatára a pin/ball on disk vizsgálat nagyon jó közelítést ad. Ebben az esetben nemcsak a hőmérséklet beállítása lehetséges, hanem a pin/ball anyagát azonosra lehet választani, mint a forgácsolandó anyag.



13. ábra. A Daimler-Benz adhéziós teszt besorolási skálája [5]

A Daimler-Benz-féle mérések alapján az adhéziós tulajdonságok részben bizonyítják, hogy azonos bevonat alkalmazásánál, viszont eltérő keményfém alkalmazásánál változtak a kopási értékek.



14. ábra. Daimler-Benz próba lenyomat sztereó mikroszkópos felvételei 200-szoros nagyításban

Érdekes módon nagyobb mértékben befolyásolta a lapka anyaga a hátkopást, mint a hűtő-és kenőfolyadék alkalmazása. A tesztek alapján a Grade 902-re mind a két típusú bevonat kombináció jobban tapadt és megfelelőnek volt minősíthető, csak mikro-repedések keletkeztek a benyomódás körzetében. A Grade 564-nél már a nem megfelelő tapadási tulajdonságokat figyelhettünk meg. AlTiN+ZrN kombinációnál a legrosszabb minősítési fokozattal rendelkezett, TiSiXN-nél pedig még az éppen megfelelő 4-es besorolást kapta. A feltárt adhéziós tulajdonságokat jól visszatükrözi a forgácsolás után megfigyelt élrátét képződést és bevonat leválás.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A mért erőértékeknél több tendenciát, az 5-ös adhéziós osztályú kombinációnál a kopásból eredő erőnövekedést, a jobb osztályzatúaknál kismértékben változott az erő nedves forgácsolásnál, száraz forgácsolásnál viszont csökkenést tapasztaltunk, feltételezhetően a hőmérséklet emelkedésből következő lágyulás miatt. A lapkák elemzése alapján tapasztalható volt a szak- és kortársirodalmakban felmerülő élrátétképződés, homlokkopás és szélkopás. A kopási igénybevételeket csökkenthetjük hűtő-és kenőfolyadék alkalmazásával, illetve a megfelelően ismert és jó tapadóképesű bevonattal. A szélkopásra választ ad a sorja

keményiség, ugyanis keménysége közel másfélszer akkora, mint az alapanyagé és a forgácsolásnál is keményebb, az alakításból származó keményedés adja a sorjának ezt a tulajdonságát. A vizsgálat rámutatott arra, hogy nem elegendő az igénybevételeknek ellenálló bevonatot és keményfém alkalmazni, de e kettő adhéziós kölcsönhatását is figyelembe kell venni. A hátkopás értékek és adhéziós osztály alapján a Grade 902+TiSiXN+hűtés bizonyult a legmegfelelőbbnek az alkalmazott technológia esetén.

8. IRODALOM

- [1] Gunn, R. (Ed.). (1997). Duplex stainless steels: microstructure, properties and applications. Woodhead Publishing.
- [2] Bődök, K. Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére. Corweld, Budapest, 1997
- [3] Diniz, A. E., Machado, Á. R., & Corrêa, J. G. (2016). Tool wear mechanisms in the machining of steels and stainless steels. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87(9-12), 3157-3168.
- [4] Dr. Sipos S., Dr. Palásti-Kovács B., Dr. Horváth R.. Forgácsoló technológiák és szerszámai, ÓE-BGK 3057, Budapest 2015.
- [5] <https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [6] Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., & Littlefair, G. (2015). Chip formation mechanism and machinability of wrought duplex stainless steel alloys. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 80(5-8), 1127-1135.
- [7] Vidakis, N.; Antoniadis, A.; Bilalis, N. The VDI 3198 indentation test evaluation of a reliable qualitative control for layered compounds. Journal of materials processing technology, 2003, 143: 481-485.

AZ INFORMÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-19-1-I-ÓE-62 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



KÖSZÖNETTEL TARTOZUNK TOVÁBBÁ A MAGYARMET FINOMÖNTÖDE KFT.-NEK ÉS A TEMA TEHETSÉG MENEDZSMENT ALAPÍTVÁNYNAK A TÁMOGATÁSÉRT.

