

ERŐSEN ÖTVÖZÖTT DUPLEX KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK SZÁRAZ FORGÁCSOLÁSI NEHÉZSÉGEI

DIFFICULTIES IN THE MACHINABILITY OF SUPER DUPLEX STAINLESS STEELS

Nagy András István,¹ Fábíán Enikő Réka,² Horváth Richárd,³ Terek Pál⁴

^{1,2,3} Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország

¹ nagy.andras.istvan@hotmail.hu

² fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

³ horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu

⁴ Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományi Kar

Abstract

Industrial applications of super duplex stainless steels are increasing. The machinability of duplex stainless steels is generally poor. Our dry turning test were carried out at G X2CrNiMoCuN 26-6-3-3 casted superduplex steel, using two different PVD coated cutting insterts. One of them were coated with TiAlN and other with TiAlSiN. Strong burr formations and eging formation were observed during our machining experiments, which damaged the tools edges. There was no significant difference between the effect of the coating based on short-ened tests.

Keywords: duplex stainless steel, , machinability.

Összefoglalás

Az erősen ötvözött korrózióálló duplex acélok felhasználási területei egyre nagyobb teret kapnak azok különleges tulajdonságainak köszönhetően. A duplex acélok megmunkálhatósága általában rossz. Kísérleteink során TiAlN és TiAlSiN típusú PVD bevonattal ellátott forgácsoló szerszámmal rövidített, száraz forgácsolási kísérleteket végeztünk, a G X2CrNiMoCuN 26-6-3-3 öntött acél forgácsolási problémáinak feltárására. Erős sorjaképződést és élratét képződést tapasztaltunk a forgácsolási kísérletek alatt, mely a szerszáméletét károsítja. A rövidített vizsgálatok alapján számottevő különbséget nem tapasztaltunk a bevonatok hatása között.

Kulcsszavak: korrózióálló acél, duplex, forgácsolhatóság.

1. Duplex acélok története és alkalmazása

A duplex korrózióálló acélok (DSS) megjelenése a XX. század első negyedére tehető, de ekkor még a korabeli kohászati eljárásokkal nem tudtak gazdaságosan alacsony karbontartalmú acélokat előállítani. Az AOD (Argon-Oxigen Decarburization) eljárás megjelenése adta a probléma megoldásához a kulcsot, sikerült a karbontartalmat gazdaságosan 0,01–0,03 % közé beállítani, mely

szükséges volt a megfelelő korrózió állóság megtartásához. Többnyire a korrózióálló acélokból az ausztenites szerkezetűeket alkalmazzuk, de mellettük a korszerű duplex acélsalád felhasználási aránya egyre nagyobb, köszönhetően a kedvező mechanikai tulajdonságaiknak, mint amilyen a nagyobb szilárdság és az alacsony hőmérsékleten is jó ütőmunka [1].

A duplex acélokat az ipar több területén alkalmazzuk: vegyipar, olajipar, gépipar. Van példa arra, hogy komplett hajó- és hídszerkezeteket is

készítettek duplex korrózióálló acél minőségből [1]. A duplex acélok jól teljesítenek kloridos közegekben is és kavitációval terhelt alkatrészek alapanyagául is szolgálhat.

A duplex acélok szövetszerkezetét általában 50% asztenit és 50% ferrit jellemzi. A ferrites szerkezet rész biztosítja a jó feszültség korrózióállóságot és magas szilárdságot. Az ausztenites rész pedig a megfelelő szívósságot és lyukkorrózióállóságot.

A mechanikai tulajdonságoknak köszönhetően a DSS acélból készült szerkezethez kisebb az anyagfelhasználás, amely indirekt módon csökkenti a szén-dioxid kibocsájtást, mely megfelel a jelenkori követelményeknek (1. ábra).

A korrózióálló acélokat PRE_N (pitting index) alapján csoportosítjuk [3].

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

Ezek alapján besorolva beszélhetünk a sovány (lean) és sima duplex acélokról ($PRE_N = 25-38$), szuper duplex (SDSS) ($38 < PRE_N < 48$) és hyper duplex acélokról ($48 < PRE_N$) [3]. Nagyobb PRE_N index jobb korrózióállóságot takar.

A DSS acél felhasználási mennyiségének növekedése maga után vonja a feldolgozási technológiájuk kutatását is. Egyik elengedhetetlen technológia a forgácsolás, mely megfelelő pontosságot biztosít az illesztendő alkatrészekhez. A jó felületi minőség nem csak esztétikai szempont, hanem az élettartamot is befolyásolja. A felületi minőség befolyásolja a fásztó és korróziós igénybevételekkel szembeni ellenállást is. Emiatt fontos a forgácsolással történő megmunkálásuk kutatása, mely hozzásegít a gazdaságos technológiai paraméterek megállapításához.

2. Duplex acélok főbb forgácsolási problémái

A duplex korrózióálló acélok forgácsolási megmunkálásánál több problémával is szembesülünk. Ausztenites acélokhöz hasonlóan folyó forgácsot ad, mely a forgács kezelés szempontjából gazdaságtalan, a megmunkálás felügyeletnekülségét befolyásolja, feltekeredhet a munkadarabra



1. ábra. Az 1.4401 ausztenites és 1.4362 duplex acél összehasonlítása azonos teherbírásra [2]

és ezzel elronthatja a felületi érdességet, esztétikai problémát okoz. Dolgozói szempontból a sorja képződés okoz nehézséget, mely sérülést okozhat és egy plusz munkafázist jelent a műveleteknél ezzel növelve a költséget.

A duplex korrózióálló acélok relatív megmunkálhatóságuk is kisebb, mint az egyfázisú ferrites, martenzites vagy ausztenites korrózióálló acéloké [4].

A DSS acélok megmunkálásakor a szerszámokat több igénybevétel is éri. Az erőteljes ötvözöttség és ferrites szerkezet nagy szilárdsága miatt a szerszámot nagy erők terhelik, így élkipattanás vagy lecsorbulás keletkezhet. Az abrazív igénybevételeket az élrátét fokozza. A szerszáma feltapadó forgács és leválás ciklikusan ismétlődik, közben adhéziós kopást okoz, mely elrontja a működő szögeket és ezzel plusz rezgést visz a rendszerbe. A leváló forgács ugyanakkor visszatapadhat a felületre, mely alkalmazhatatlanná teszi a legyártott alkatrészt. A szerszámon jellemző kopás kép a szélkopás, melyet irodalmi adatok szerint a keményedő szívós alapanyag okoz [5]. Valamint szintén irodalmi adatok szerint PVD eljárással felvitt AlTiN bevonat, mely nanoágyazású jól teljesített duplex acélok forgácsolásánál [5].

3. Anyag és módszer

3.1. Kísérletben használt duplex acél bemutatása

A vizsgálatra kiválasztott szuper duplex acél jele az MSZ EN 10 027-1 szerint G X2CrNiMoCuN 26-6-3-3 öntött anyag minőség, melyet gyakran alkalmaznak csőszerelvények, szivattyú járókerekek és házak alapanyagaként kiváló kavitációs és lyukkorróziós ellenállása miatt. Az MSZ EN 10 027-2 jelölése: 1.4517. A vizsgált acél jellemző összetételét az 1. táblázat mutatja.

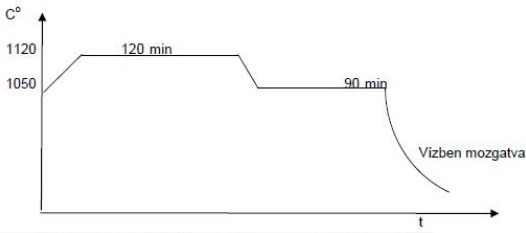
1. táblázat. 1.4517 acél átlagos összetétele

C, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	N, %	Cu, %
max 0,03	26	6	3	0,2	3

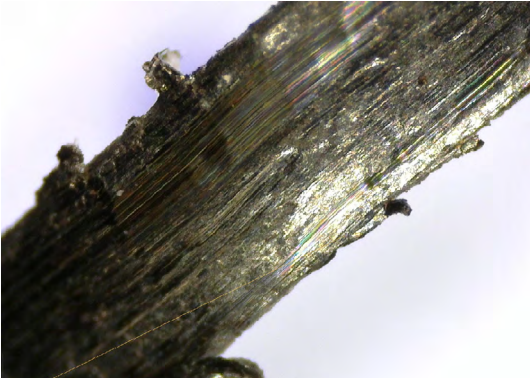
Öntés után az egységes ~50-50% ausztenit ferrites szövetszerkezet kialakítás érdekében oldó-izító hőkezelést alkalmaztak (2. ábra).

3.2. Kísérletben használt szerszámok bemutatása

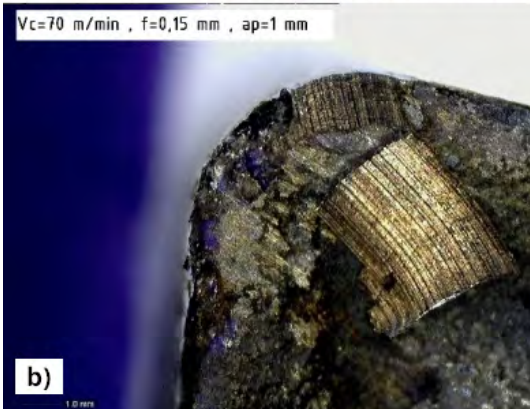
A forgácsolás esztétikai kísérlet volt. Az alkalmazott forgácsoló lapka: CNMG 12-04-08M, szerszámszár: PCLNR 25-25-12. Irodalmi adatokra támaszkodva a lapkákra PVD eljárással két tí-



2. ábra. A mintadarab oldó-izzító hőkezelési diagramja



3. ábra. Képződött forgács hátlapja, (szm felvétel)



4. ábra. Duplex korrózióálló acél okozta jellemző kopásformák; a) TiAlN lapka kopása
b) Élratét TiAlN bevonatos lapkán (SZM felvétel)

pusú bevonatot vitettünk fel az egyik egy TiAlN a másik egy TiAlSiN bevonat. Mind a két bevonat nanoágyazású és 2 μm rétegvastagságú. A TiAlN szürkés színű ~3200 HV keménységű és 750 °C-ig jól ellenáll a forgácsolás közben fellépő oxidációs igénybevételnek. A TiAlSiN bronzos színt kölcsönöz a forgácsoló lapkának. A bevonat ~4000HV keménységű és 800 °C-ig izolálja a szerszám keményfém alapanyagát az oxidációs igénybevételtől, mely alkalmassá teszi a nagysebességű forgácsoló megmunkálásra.

3.3. Forgácsolási körülmények, vizsgált paraméterek

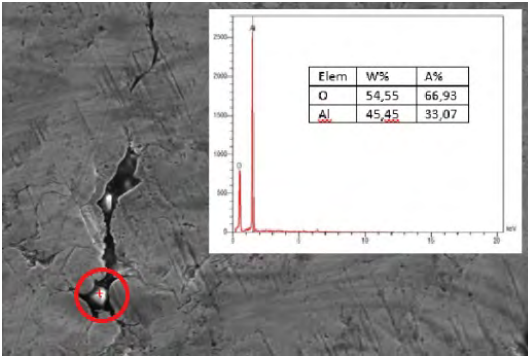
A forgácsolást szárazon végeztük, mert a gazdaságos forgácsolási mutatók a hűtőfolyadék mellőzését támogatják, mellyel csökkennek a költségek és a környezetvédelmi szempontokat figyelembe veszi. Az így keletkezett folyóforgács széleken erős felszakadások mutatkoztak (3.ábra).

A kísérletben állandó forgácsoló sebességet ($v_c = 70 \text{ m/min}$) és előtolást ($f = 0,15 \text{ mm}$) alkalmaztunk, abból a célból, hogy a rövid vizsgálatból különbséget tudjunk tenni a felvitt bevonatok teljesítőképessége között.

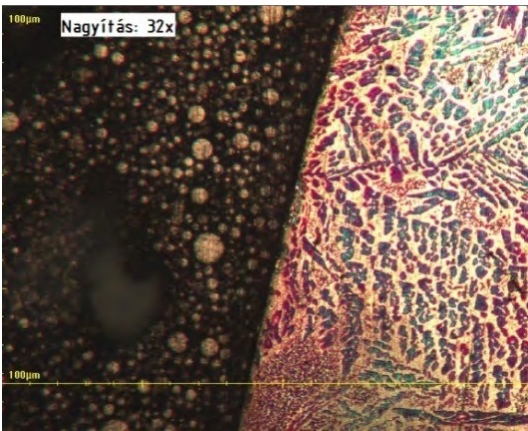
A forgácsolás során mind két esetben 5 min forgácsolásban töltött idő után erős kopást tapasztaltunk. Megjelentek a csoportra jellemző kopás formák, mint az erős szélkopás, élratét képződés (4. ábra), mely a felületet is befolyásolta, folyóforgács, mely könnyen feltekeredett a munkadarabra. A megmunkálás végén a vállon vastag, kemény sorját találtunk. A sorja nem csak munkadarab kezelési szempontból volt problémás, hanem a szerszám élet is igénybevette. Számottevő különbséget a rövidített vizsgálatok alatt nem tapasztaltunk a bevonatok hatása között.

A forgácsoláskor fellépő hőmérsékletek diffúziós hajtóereje kiválási folyamatokat indíthat el. A vizsgált SDSS acél nagy réztartalma, az adott hőmérséklettartományban megjelenő kiválásai [1, 3, 6] feltételezhetően fokozzák a szerszám kopást. A forgácsolás minta elektronmikroszkópos kiemlézése során az egyik szemcsehatár menti üregben Al_2O_3 szemcsét találtunk (5. ábra). Ez feltételezhetően az acél dezoxidálásából visszamaradó szemcse. Az Al_2O_3 abrazív megmunkáló szerszámok alapanyagként alkalmazzák, mely nagykeménységű és esztergálási és marási körülmények között károsítja, abrazív módon koptatja a szerszámot.

A 6. ábrán jól láthatóan a mintadarabot kiválóan hőkezelték, egyenletes finom szövetszerkezete van még a minta felületének közelében is. Beraha 2 reagenssel maratva a metallográfiailag előké-



5. ábra. Szemcsehatár menti üregbe beült Al_2O_3 szemcséződés



6. ábra. Mintadab maratott szövete képe (axiális metszet)

szített keresztmetszeti mintán az erőteljesen elszíneződött és el nem színeződött ausztenit–ferrit mennyiség egyenletes eloszlása nagyon jól kirajzolódik. Megfigyelhető, hogy az esztergált felület közelében nem látható különösebb szerkezeti torzulás.

Összegzés

Duplex korrózióálló acél száraz forgácsolása során több kopásformát is tapasztalhatunk. A PVD bevonat összetételétől függetlenül élrátét képződést figyelhetünk meg, melyet a szakirodalmi és gyártói ajánlások alapján pl.: a forgácsolósebes-

ség emelésével csökkenthetünk. A két bevonat teljesítőképessége között számottevő különbség a rövidített vizsgálatok alapján nem mutatkozott. A szerszámot érő koptató igénybevételt fokozhatja a szemcsehatárra beült Al_2O_3 szemcse. A szívós anyagszerkezet erős sorjaképződést von maga után.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Magyarmet Finomöntöde Kft.-nek a forgácsolási kísérletre öntött és hőkezelt munkadarabok gyártásáért. A TeMA Tehetség Menedzsmet Alapítványnak a támogatásáért.

A kísérletsorozat az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-I-OE-37 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának, valamint az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bödök K.: *Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére*. Corweld, Budapest, 1997. 225–252.
- [2] Nippon Steel & Sumikin Stainless Steel Corporation
<https://nssc.nssmc.com/en/campaigns/duplex/orientation/nssc2120.php>
- [3] Gunn R. (Ed.): *Duplex stainless steels: microstructure, properties and applications*. Woodhead Publishing, 1997. 6–7.
- [4] Sandvik Coromant, *Tudástár*
<https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [5] de Paiva J. M., Torres R. D., Amorim F. L., Covelli D., Tauhiduzzaman M., Veldhuis S., Fox-Rabinovich G. Frictional and wear performance of hard coatings during machining of superduplex stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92/1–4. (2017) 423–432.
<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0141-4>
- [6] The Outokumpu Handbook of Stainless Steel, 2018.75
<https://otk-sitecore-prod-v2-cdn.azureedge.net/-/media/from-sharepoint/documents/product/outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf?revision>