



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Gyártástudomány és -technológia tanszék

TDK DOLGOZAT

Duplex rozsdamentes acél munkadarab forgácsolási technológiájának optimalizálása esztergagépen

Készítette:

Pécsi Dénes

IV. évfolyamos hallgató

Fogarassy Márton

V. évfolyamos hallgató

Konzulens:

Gyurika István Gábor

tanszéki mérnök, Gyártástudomány és -technológia Tanszék

A dolgozat bemutatását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című program támogatta.
2012.

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	3
2. Irodalomkutatás	5
2.1 A duplex acélok	5
2.2 A duplex acélok forgácsolása	9
2.3 Hegesztés, korrózióállóság	17
2.3.1 Hegesztés	17
2.3.2 Korrózióállóság	18
3. A duplex acélok gyártástechnológiája	20
3.1 Gyártási folyamat	20
3.2 A bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. és a duplex acélok	21
3.2.1 Az EN 1.4469 duplex acél jellemzői	22
3.2.2 Duplex acélok megmunkálása Bicskén	22
3.2.3 Cégnél alkalmazott szabványok a duplex acélokra	26
4. Felhasznált gépek, berendezések	28
5. A vizsgálati feladat végrehajtása	34
5.1 A darabok legyártása	34
5.2 Mérési eredmények	37
5.2.1 Szakítószilárdság mérése	37
5.2.2 Brinell keménység mérése	39
5.2.3 Az anyag forgácsolástechnológiai vizsgálata egyetemes esztergán ..	40
6. Költségoptimalizálási számítások	58
7. Összefoglalás és következtetések	67
8. Továbbifejlesztési lehetőségek	69
9. Köszönetnyilvánítás	70
10. Angol nyelvű összefoglaló (Summary)	71
11. Irodalomjegyzék	72

1. Bevezető

Sokat hallottunk manapság erről az úgynevezett duplex acélról, de milyen tulajdonságokkal is rendelkezik ez valójában? A kétfázisú vagy duplex korrózióálló acél jellemzője, hogy a ferrites és az ausztenites szerkezet együtt található meg a szövetszerkezetében, és mindkét szerkezet javítja a tulajdonságait. Ennek az anyagnak viszonylag nagy a folyáshatára, és a szilárdsága. Kiváló a feszültségkorrózió állósága, elsősorban kloridos közegben. A ferrit javítja a korrózióállóságát, az ausztenit pedig biztosítja a szívósságát, a hegeszthetőségét és az alakíthatóságát. Rengeteg cég használja napjainkban előszeretettel kiváló tulajdonságai és relatív olcsósága miatt.

A dolgozat témája duplex rozsdamentes acél munkadarabok megmunkálásának, megmunkálhatóságának vizsgálata, simító forgácsolási technológiájának optimalizálása egy bizonyos szerszámlapkával egyetemes esztergagépen hűtő-kenő folyadék biztosítása mellett. A forgácsolás minősítése adott környezetben műszeres mérésekkel alátámasztva történt. Mivel az anyag megmunkálásának teljes vizsgálata rengeteg időt venne igénybe, ezért csak az esztergálásával foglalkoztunk. Egy bizonyos szerszámlapkával vizsgáltuk meg a forgácsolási paraméterek változtatásának hatását a lapka éltartamára. Kezdeti paraméterek beállításánál az irodalomkutatásból vett értékek, és az üzemi mérnökökkel megbeszélte adatok segítettek, kiválasztottuk azt az eljárási lépéssort, ami a vizsgálatok szempontjából a legmegfelelőbb. Miután döntöttünk, a megmunkálási terv kidolgozása volt a feladat.

Célunk a költségoptimalizálás volt, figyelembe véve a lapka árát, az órabért, az amortizációs költséget és az energia költségét. A lapka éltartamát adott időben maximalizálva a lehető legtöbb forgácsot távolítottuk el, és az átlagos felületi érdességben nem haladtunk $\sim 2,2 R_a$ érték fölé. (Jogosan vetődik fel a kérdés, hogy miért nem az időoptimalizálással foglalkoztunk? Ugyan a költség és az időoptimalizálás szinte ellentétes elv, mégis néhány kísérletben az utóbbit tettük, maximum $\sim 3,2 R_a$ -ig mentünk el, de ez csak kitekintés az időoptimalizálás felé. Ezeket az eredményeket akkor tudják használni a cégek, ha szoros határidőre termelnek, mint például a nyár során a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt.. Bár az biztos, hogy mindkét esetben a termelékenység felé kell elmenni.) A mérési folyamat során fokozatosan változtattuk a paramétereket, mértünk, tanakodtunk, és az eredményeinket rögzítettük, majd nyugodt körülmények között kiértékelte azokat

úgy, hogy használhatóak legyenek. Szerettünk volna egy átfogó képet rögzíteni a duplex acélokkal kapcsolatban.

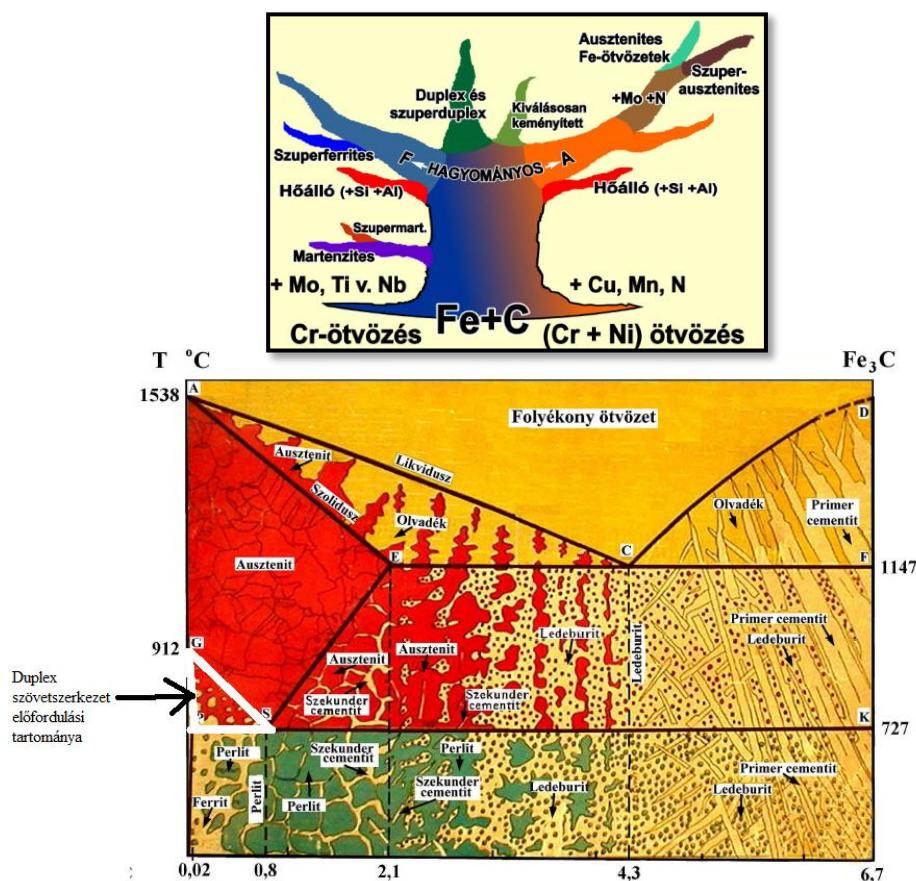
Duplex acélokból az utóbbi időkben rengeteg összetételűt fejlesztettek ki. Ezek a szén (~0,02-0,06), nitrogén (~0,07-0,50), króm (~18,5-32), nikkel (~1,5-7,7), molibdén (~0-4,8), mangán (~0-5), szilícium (~0,025-1,0), réz (~0-2,0) és a volfrám (~0-2) tartalomban térnek el egymástól. Némely esetben más adalékot is kaphat az anyag, ilyenek például a titán (~0,25) és a kobalt (~1). A hőkezelés biztosítja a végleges tulajdonságokat. Ezeket a típusokat a kifejlesztésben részt vevő cégek saját típusnevekkel látták el (például: Uranus 50, Uranus 47N, Zeron 100, Carpenter 7-Mo, Sumitomo DP3), UNS számmal, EN számmal, és csoportokba is besorolták őket.

A TDK dolgozatunk célja a mérésben bontakozik ki: a forgácsolási paraméterek változtatása hogyan is hat a lapka élettartamára. A kapott eredményeket rögzítettük, következtetéseket vontunk le, ajánlásokat tettünk. Az Összefoglalás részben kiderül, hogy milyen irányban érdemes elmenni a paraméterek változtatásában.

2. Irodalomkutatás

Az általunk leírt vizsgálat megvalósítása előtt egy átfogó irodalomkutatást kellett végeznünk arról, hogy ezeknek az acéloknak a megmunkálásával ki, mikor és hol foglalkozott, milyen eredményekre, konklúziókra jutottak eddig. Az anyag megmunkálhatósága ugyan csak a szerszám minőségétől, típusától, geometriájától, szerszámgéptől, hűtő-kenő folyadék alkalmazásától, forgácsolási paraméterektől függ, de csak akkor tudunk komolyabban vizsgálódni, ha megismerjük az anyag szövetszerkezetét. Ebből kifolyólag dolgozatunkban az anyagszerkezettan tudományával is elkezdtünk foglalkozni. A kutatás alatt néhány iránymutató értéket a Science Direct honlapjáról vettünk. A duplex acélok elhelyezkedését az 1. ábrán láthatjuk, a mikrostruktúrájukat a 2. ábrán.

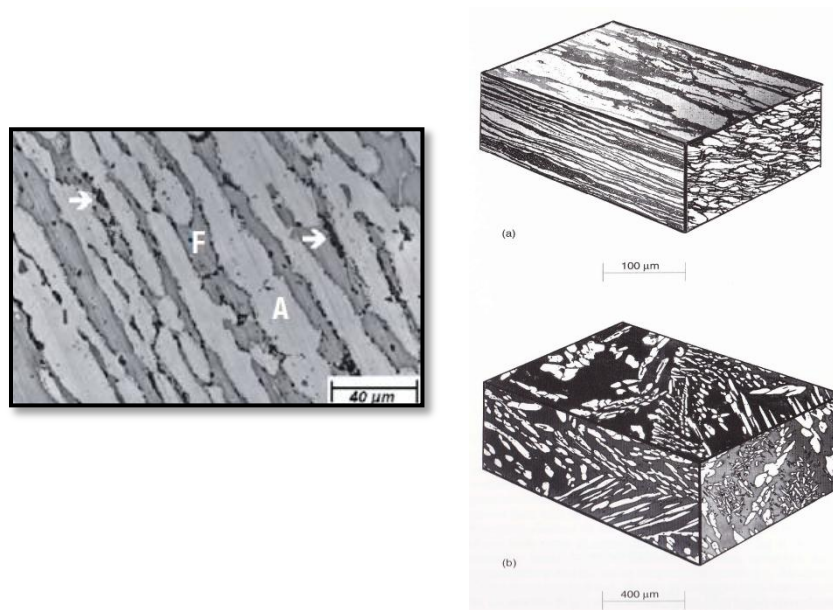
2.1 A duplex acélok



1. ábra. A duplex acélok elhelyezkedése [8, 24]

Típusai: Duplex 22% Cr, Duplex 25% Cr, Szuperduplex, Hiperduplex, Sovány duplex (lean duplex) illetve még néhány más csoport (pl. Cr <20%). [8]

A duplex acélok összetevői, szövetszerkezete



2. ábra. Mikrostruktúra [16, 26]

A korrózióálló acélokat szövetszerkezet, ötvöző-tartalom és fizikai tulajdonságok alapján osztályozzák. Megkülönböztetnek: ferrites, martenzites, ausztenites, duplex és kiválással keményedő acélokat. [4]

A különböző jellemző szövetszerkezetű acélok az eltérő ötvözőtartalmak következtében különböző kémiai, fizikai és mechanikai tulajdonságúak. A felhasználáskor gondos mérlegelés alapján kell az igénybevételi viszonyoknak legjobban megfelelő acélfajtát kiválasztani. [4]

Az ausztenites - ferrites acélnak ferrites és ausztenites rácsszerkezete van - innen a közneve: duplex acél. Ebben az acélban van egy kevés nikkel a részleges ausztenites rácsszerkezet érdekében. A magas króm- és molibdén-tartalomnak köszönhetően, magas ellenálló képességgel rendelkezik a korrózió és a repedések ellen. A molibdén a legtöbb környezetben, különösen a klórtartalmú közegekben növeli a korrózióállóságot. Az acélok rozsdával és savakkal szemben ellenállóak akkor, ha az ötvözetük legalább 10,5 [%]-ban krómot tartalmaz, így kialakul a passzív réteg. Ennek hatására kialakuló króm-oxid védőréteget passzív rétegnek nevezzük, amely megvédi az acélokat a korróziótól. A króm és egyéb ötvözők arányának növelése növelik a korrózióval és az oxidációval szembeni ellenállóságot. A duplex acél mikroszerkezete nagy korrózióálló képességet biztosít nyomás alatti törés és erózió esetén is. [1, 2, 6]

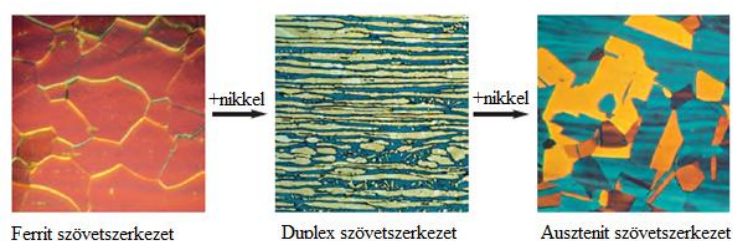
Az eredmény két kristályfázis, mindegyik olyan összetétellel, mely az adott fázist korrózióállóvá teszi. A duplex minőségekben található egy tércentrált köbös fázis (a ferrit)

és egy lapcentrált köbös fázis (az ausztenit). Így egy ötvözetben hasznosítani lehet mindkét fázis előnyös tulajdonságait. [2]

Sokáig vitáztak arról a szakmai fórumokon, hogy a Mo helyettesítése W-mal előnyös-e, és a vita azzal zárult, hogy a W hatása valójában elhanyagolható. [8]

A nikkel biztosítja a kívánt fázisegyensúlyt és az acél szívósságát. A duplex acélok viszonylag kevés 1,5-7% közötti nikkelt tartalmaznak. Ha a korrózió megindul, a nagyobb nikkeltartalom hasznos a repassziválódás szempontjából. [2]

A nitrogén nagyon fontos alkotó, mivel számottevő mértékben növeli a szilárdságot és a lyukkorrózióval szembeni ellenállást. Ugyanakkor erős ausztenit-stabilizáló hatása is van (3. ábra). Ezen kívül a nitrogén javítja a hegeszthetőséget is. [2]



3. ábra. Duplex acél előállítása [16]

A duplex acélok hőkezelése

A duplex hőkezelés legfontosabb eredménye a nagy keménységű zóna megnövekedett mélysége, ami általában vastagabb, mint a lézeres vagy akár a plazmanitridálás utáni.

A duplex felületkezelések két egymást követően végrehajtott felületkezelést kombináló anyagok illetve belőlük készülő termékek károsodásállóságának (pl. kopásállóság, megeresztésállóság, korrózióállóság, ...) javítása érdekében alkalmazható technológiák. [5]

A szövetszerkezetben az ausztenit/ferrit viszony a vegyi összetételtől és a hőkezeléstől függ. Minél nagyobb a hőmérséklet és minél gyorsabb a lehűlés, annál több a ferrittartalom. Az ausztenit - ferrites acélok hajlamosak a 475 °C-os, illetve a σ - fázis okozta ridegedésre. Jellegzetes, hogy a 475 °C-os ridegedés növeli a folyáshatárt és a szakítószilárdságot, de a szívósságot alig csökkenti. A különböző hőkezelésnek a mechanikai tulajdonságokra kifejtett hatása az 1. táblázatban látható. [4]

A melegalakításnak ugyanúgy, mint az ausztenites acéloknál a célja a nem kívánatos fázisok feloldása és a ferrites és ausztenites szerkezet kimért beállítása. [6]

<i>Hőkezelés</i>	Folyáshatár, MPa	Szakító szilárdság, MPa	Nyúlás, A ₅ %	Útómunka, KCU, J/cm ²	Brinell-ke- ményesség
1150 °C/víz 1150 °C/víz+4 óra	420	720	23	190	228
450 °C/levegő 1150 °C/víz+30 min	700	1000	30	80	302
800 °C/levegő	-	-	0	0	477

Az acél vegyi összetétele: C 0,05% Cr 25% Ni 8% Mo 2,5% Cu 1,5%

1. táblázat. Ausztenites - ferrites acélok mechanikai tulajdonságai a különböző hőkezelések után [4]

A duplex termokémiai kezelés a cementálást és a nitridálást kombináló eljárás, ami a cementált (majd edzett illetve megeresztett) felület nitridálását jelenti. Ehhez az acélnek 500-550 [°C]-on stabil cementites-karbidos szerkezettel - azaz kellő megeresztésállósággal - és megfelelő nitridképző-tartalommal kell rendelkeznie.

Technológiai kivitelezés:

- „Előoxidáció” (950 °C / 30 perc / levegő), melynek eredményeként az oxid-fém határfelületen oxidpenetráció megy végbe és az így képződő határfelületi háló elősegíti a karbon diffúzióját.
- Gázcementálás kb. 925 °C-on, 10-12 óra
- Edzés és kb. 540-550 °C-os megeresztés
- Gáz- vagy plazmanitridálás 500-520 °C-os hőmérsékleten. [5]

A duplex acélok tulajdonságai, előnyei

Mágneses szilárdság 600-950 N/mm², szakadási nyúlás 25-30 %, nem edzhető, nagy kifaradási határ, jól hegeszthető, ellenáll az általános, lyuk- és réskorrózióval szemben, ellenáll a klór okozta feszültségkorrózióval, korróziós kifaradással szemben, nagyon jó hideg és melegalakíthatóság, mérsékelt hővezetőképesség, nagy mechanikai szilárdság, jó kopásállóság és erózióállóság, nagy energiaelnyelő képesség, kis hőtágulás. [6, 2]

A duplex acélok felhasználási területei

Az ausztenites-ferrites duplex acél leggyakoribb felhasználási területei: a petrokémiai, papír, cellulóz és hajóépítő ipar. Mélytengeri csővezetékek, tengervíz hatásainak kitett szerkezetek pl. hidak, tengeri kőolaj- és földgázkitermelő tornyok, gyógyszeripari berendezések, vegyipari berendezések, nyomástartó edények, tartályok, hőcserélők. 4. ábrán láthatunk példákat. [1, 3]



4. ábra. Felhasználási példák: Tartálpark duplex acéllemezekből Spanyolországban és a szingapúri Marina öbölben lévő gyaloghíd [2]

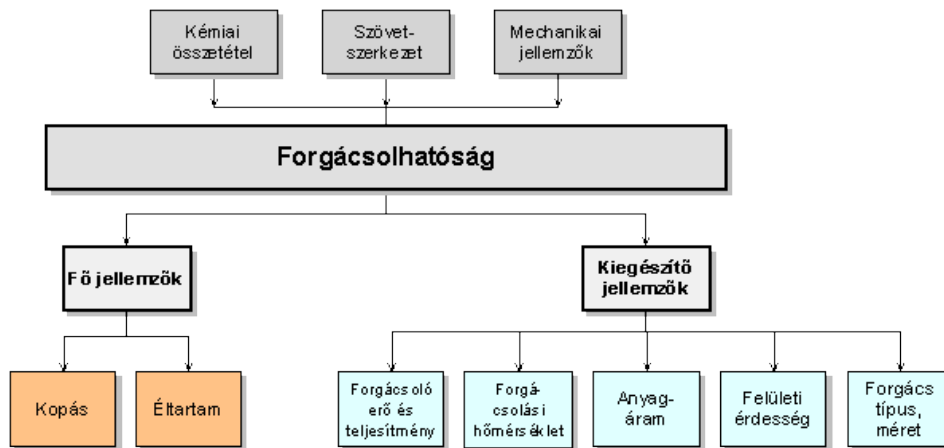
2.2 Duplex acélok forgácsolása

Ismert, hogy az acélok forgácsolhatóságát az alábbi három fő tényezőcsoport határozza meg:

- kémiai összetétel (amely például a kémiai behatásokkal szembeni jelentős ellenállást idézi elő),
- az acél szövetszerkezete (amely például hőkezeléssel vagy hideg alakítással módosítható), és
- mechanikai tulajdonságok (amelyek például a szilárdsággal, a szívóssággal, az alakíthatósággal stb. jellemezhetők). [17]

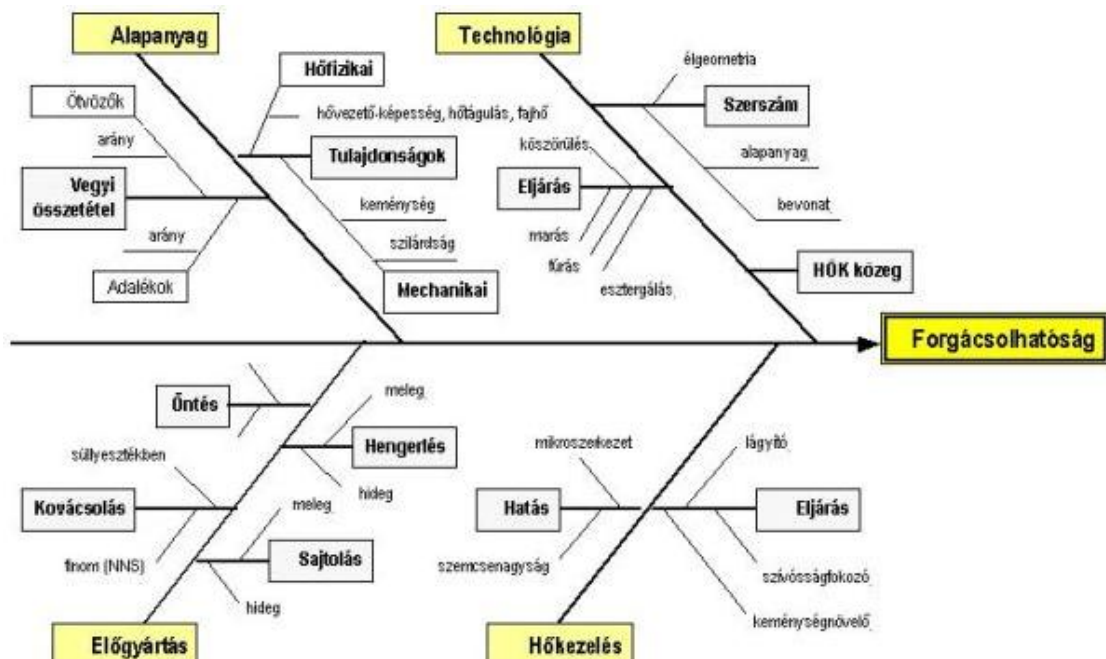
A forgácsolhatóság fő és kiegészítő jellemzőit az 5. ábra szemlélteti, legfontosabb tényezőit Ishikawa diagramban pedig a 6. ábrán követhetjük nyomon.

A konstrukciós szempontból bekövetkező kedvező fejlesztési eredmények (a duplex vagy a PH acélok megjelenése) együtt jártak a forgácsolhatóság csökkenésével. A forgácsolás szempontjait figyelembe véve a lágyított vagy a hidegen hengerelt állapot a kedvező, főként a lágy ausztenites és a ferrites acélok esetén. [18]



5. ábra. Forgácsolhatóság fő és kiegészítő jellemzői [19]

A keménység növekedésének az a jól ismert jelenség a magyarázata, hogy mechanikai terhelés hatására az ausztenit egy része martenzitté alakul át. Az anyag keménységének növekedése a szerszámcsúcs környezetében a legjelentősebb, ezért a mikrokeménység vizsgálatok egy nagyobb keménységű, vékony felületi réteg kialakulására utalnak. Nyilvánvaló, hogy az anyagnak a forgácsképződési folyamatban bekövetkező felkeményedése meghatározó szerepű a szerszám kopásában. [17]



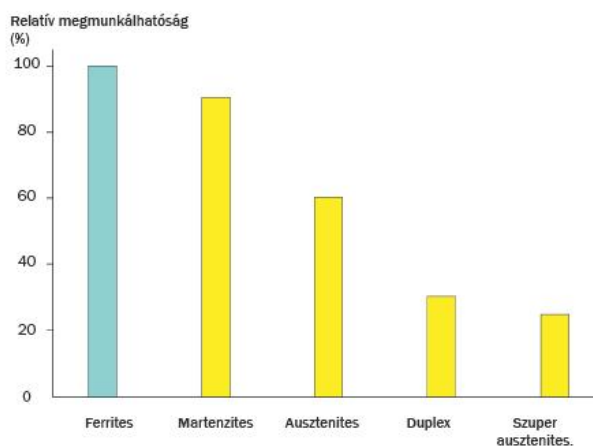
6. ábra. Forgácsolhatóság legfontosabb tényezői Ishikawa diagramban [25]

A korrózióálló acél könnyen odaragad a megmunkáló szerszámhoz. Nehézségek ebből akkor adódnak, ha túl kicsi a forgácsolási sebesség. A szénacélok és a korrózióálló acélok megmunkálása közötti az a legnagyobb különbség, hogy az utóbbinál a túlságosan kis

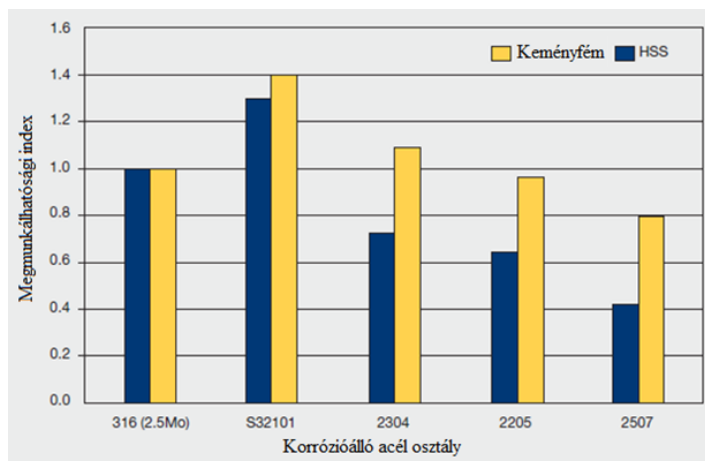
sebességeknél adódnak gondok. Ennek következtében romlik a felületminőség és csökken a szerszám élettartama. A probléma a forgácsolási sebesség növelésével megoldható. [2]

A relatív megmunkálhatóság általában rossz, 30 %, a magas folyáshatárnak (az ausztenites acélok folyáshatárának kétszerese) és nagy szakítószilárdságnak köszönhetően. A magas, 60 % feletti ferrittartalom javítja a megmunkálhatóságot. A megmunkálás során erős forgács keletkezik, ami forgács miatti ütéshez vezethet, és nagy forgácsoló erőket ébreszt. Sok hőt termel forgácsolás során, ami képlékeny alakváltozást és nagymértékű kráterkopást okoz. A kis főél-elhelyezési szöget kell előnyben részesíteni a berepedezéssel kopás és sorjakialakulás elkerülése érdekében. Nagyon fontos a szerszám és munkadarab befogásának stabilitása. [14]

A duplex acélok relatív megmunkálhatósága az 7. és 8. ábrán látható.



7. ábra. Relatív megmunkálhatóság az egyes szövetszerkezetek esetén [14]



8. ábra. Egyes duplex acélok relatív megmunkálhatósága gyorsacél és keménymét lapkával [2]

A rezgések minimalizálása végett olyan rövid legyen a szerszámszár, amilyen rövid csak lehet. (Jóval nagyobb erők lépnek fel, mint az ausztenites korrózióálló acéloknál.) A

szerszámél sugara ne legyen nagyobb a szükségesnél. „Éles” élt használjunk úgy, hogy közben megmaradjon a megfelelő szilárdság. Tervezzük úgy meg a megmunkálást, hogy az edzett rétegben is biztosítsa a megmunkálási mélységet. Használjunk megfelelő, de nem túlzott sebességet az élrátét, és a gyors kopás elkerülése végett, megfelelő fordulatonkénti előtolást. Időközönként biztosítsuk a lapkacserét. Megfelelő áramoltatású hűtő-kenő folyadékot használjunk. Bevonatos keményfém lapkák pozitív szerszámtörő geometriájúak legyenek. [15]

A korrózióálló acélok hővezető képessége gyenge, ezért a forgácsolóél nagyobb hőterhelést kap, mint más, hasonló szilárdságú anyagoknál. A legtöbb korrózióálló acélminőség felkeményedik a forgácsolás során, a felületi réteg keménysége az eredeti keménység duplája is lehet, ha nem a megfelelő szerszámot használjuk. Az anyag hajlamos a felragadásra. [10]

Keményfém szerszámok is használhatók esztergálási műveletre és ezek lehetővé teszik a nagyobb sebességet, ellenben rengeteg más szerszámacéllal. Azonban a keményfém szerszámok nagyobb figyelmet kívánnak a merevségére a szerszámnak és a munkadarabnak, és a megszakításokat az esztergálásban el kell kerülni. [16]

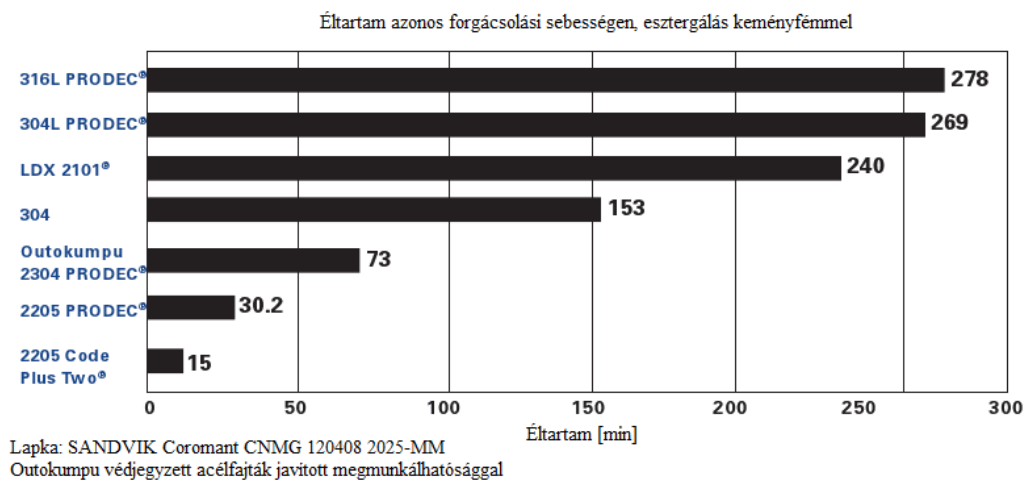
Az ajánlott forgácsolási paraméterek

Nem a nagy mennyiségű anyag eltávolítása a cél, hanem a megmunkált felület minősége. Számítás menete a következőképpen foglalható össze:

1. A forgácsolási mód megválasztása a felületi érdesség előírásainak szem előtt tartásával.
2. A szerszám alakjának és anyagának megválasztása.
3. A ráhagyásból és a szerszám alakjából a forgácsszélesség meghatározása.
4. Az előírt felületi érdességből, a szerszám alakjából a felhasznált szerszámanyagra gyakorlatilag megengedhető nagy forgácsolási sebesség mellett a közepes forgácsvastagság (e_k) meghatározása.
5. Az ismert összefüggéssel a gazdaságos éltartamhoz tartozó forgácsolási sebesség meghatározása.
6. Az ismert adatok alapján a forgácsolóerő és a teljesítmény kiszámítása. [31]

A gyakorlatban, amikor kiválasztják a szerszámokat az esztergálási művelethez a szerszámtörési diagramok hasznosak és széles körben alkalmazottak. Ezeket a szerszámgyártó cégek készítik, bemutatják az alkalmazhatósági tartományt a szabványosított és egyszerűsített forgácsolási feltételek mellett. [27]

Általános iránymutató információkat mutat esztergáláshoz a 9., 11. ábra, és 3. táblázat.
[16]



9. ábra. Éltartam 126 [m/min] forgácsolási sebességen, esztergálás [2]

Számos módja van annak, hogy növeljük a szerszám élettartamát. Megfelelő alapanyag használata a szerszám előállításához a legfontosabb befolyásoló tényező. Egy másik lehetőség egy speciális nyúlásmérő bélyeg használata, ami pontosan érzékeli a hajlító hatást, és azt úgy kompenzálja, hogy a szerszám rádiuszára a nyomófeszültség azonos nagyságú legyen minden időpillanatban.[28]

Ahhoz, hogy meghatározzuk egy anyag megmunkálhatóságát, a következő módszerek használhatók:

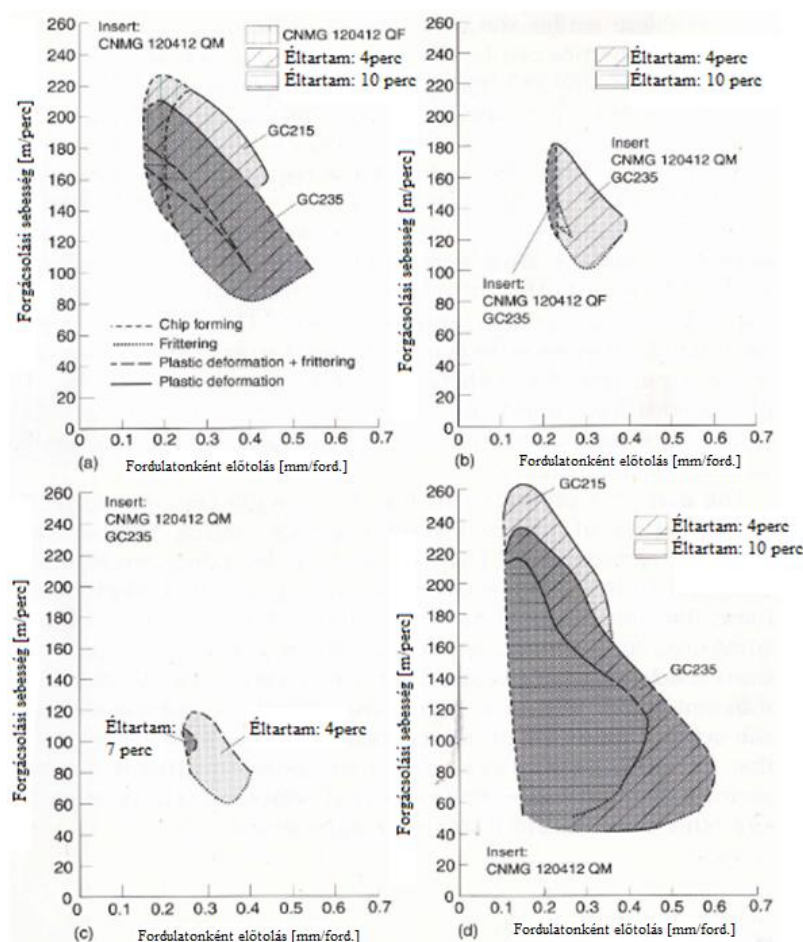
- A forgácsolhatóság meghatározása empirikus módon. Ez szóbeli vagy írásos formában mehet. Általánosságban négy tényező határozza meg. Eszerint lehet jó (kedvező), ha kis forgácsolási erők ébrednek, megfelelő a forgácsalak, jó a felületi érdesség, és megfelelő az élettartam.
- A megmunkálhatóságot meg lehet határozni mechanikai jellemzőkkel. Az anyag összetétele vagy az anyag mechanikai tulajdonságai használhatók a megmunkálhatóság jellemzésére. A gyártók gyakran megmunkálhatóság szerint osztályozzák az anyagokat.
 - anyag összetétel (szénkoncentráció): C%
 - keménységi értékek (HB, HRC, HV30 egy meghatározott hőkezelésnél)
 - szakítószilárdsági értékel (R_m)
- A megmunkálhatóságot meghatározni abszolút mérésekkel is lehet. A forgácsolási folyamat kimeneti jellemzői a meghatározóak:
 - a forgácsolási erő értékei előre meghatározott beállításokkal (F_v , F_p , F_f)

- erőkomponensek aránya (F_v/F_f): a relatív forgácsolási erő ($k_{c0.1}$) előre meghatározott forgácsolási feltételekkel (például 0,1 mm forgácsvastagság)
- fajlagos forgácsolási energia ($W_{c0.1}$) előre meghatározott forgácsolási feltételek mellett, például 0,1 mm forgácsvastagság
- éltartam állandó ($Cv30$), 30 perc éltartamnál eredő vágási sebességnél
- az eltávolított forgács tömegének a szerszám éltartama alatt
- A forgácsolhatóság minősítése történhet relatív értékek előállításával. Ebben az esetben az anyag megmunkálhatóságát egy kiválasztott bázis anyaghoz viszonyítjuk (pl. C45). Ha a vizsgált anyag jobb vágási tulajdonságokkal rendelkezik, mint a bázis anyag, akkor az arány kisebb, mint 1. Például:
 - $R1=HV30$ (porkohászati acél)/ $HV30$ (C45)
 - $R2=k_{c0.1}$ (porkohászati acél)/ $k_{c0.1}$ (C45)
- A forgácsolás értékelése indexekkel. A megmunkálhatósági index mutatja az arányát a kiemelkedő megmunkálhatósági funkcióknak relatív értékekkel.

Megmunkálhatósági indexeket kaphatunk több index lineáris súlyozásával. [28]

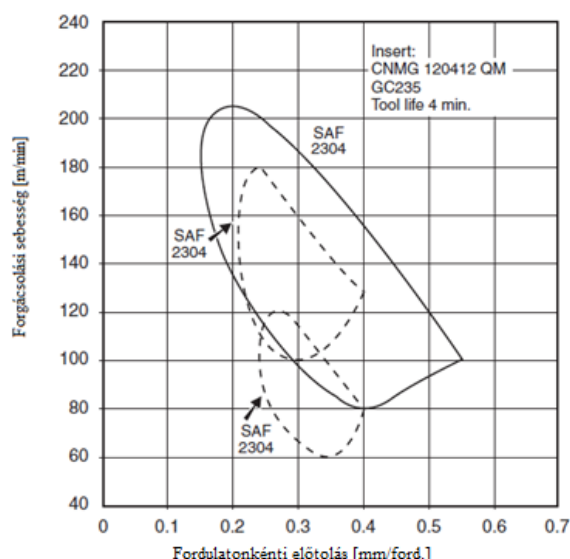
A különbségek a megmunkálhatóságban az ausztenites és a duplex acélok között azért jelentkeznek, mert a duplex acélok sokkal nagyobb szilárdságot mutatnak és sokkal jobb szakítószilárdsági jellemzőkkel rendelkeznek magas hőmérsékleten. De más tényezők is szintén hozzájárulnak ehhez, mint például a nemfémes zárványok vagy az alacsony széntartalom. Gyors forgácsolási sebesség során a szerszám képlékeny deformációja is jelentős, és még a szerszámon repedezettség is jelentkezhet. A szerszám ütése is problémát jelenthet, de jó eredményeket érhetünk el kis csúcssugárral rendelkező szerszámlapkákkal. Alacsony forgácsolási sebességnél a lepattogzódás és az anyag ráégése a szerszámra okozhat gondot. Összességében, ha magasan ötvözött az acél, különösen nagyobb hőmérsékleten, nagy forgácsolási erő fog ébredni. Ezek miatt nagy a kockázata a képlékeny alakváltozásnak.

Jobb megmunkálhatósági tulajdonságok érhetők el nem fémes zárványok, mint például szulfidok elérésével. A magas kéntartalom miatt nehezebb a fémeket hegeszteni, és kisebb ellenállást mutat a réskorrózióval szemben. Így csak akkor kell választani, ha a hegesztés nem tervezett, és a korrózióállóság sem fontos. Ennek ellenére más ötvözőkkel is kiegészítik a duplex acélokat, mint például kénnel és szelénnel, hogy jobban ellenálljon a korrózióknak és a hegeszthetőségi tulajdonságokat is javítsák. [26]



10. ábra. Megmunkálhatósági ajánlások [26]

A 10. ábrán látható diagramok bemutatják különböző duplex acélok megmunkálhatóságát különböző forgácsolási paraméterekkel esztergálási művelet során keményfém lapkákat használva. (a) S32750 UNS számú, (b) S31803 UNS számú, (c) S32304 UNS számú, (d) S32900 UNS számú duplex acélok megmunkálása GC215 és GC235 lapkaminőséggel. A diagramokban az egyes területek mutatják a szerszámok élettartamát. Sajnos ezek az eredmények nem használhatók arra, hogy általánosságban meghatározzuk az optimális forgácsolási paramétereket, mivel a munkálatok során néhány paramétert rögzítettünk, és nem változtattuk őket. Mindazonáltal ezek a diagramok bemutatják különböző minőségű duplex acélok megmunkálhatóságát azonos paraméterekkel, és látható, hogy hasonló eredményekre jutottunk, így ezek alapjául szolgálhatnak a kezdeti paraméterek beállításában. Meg kell jegyezni, hogy a marási műveleteknél (amelyet általában nehezebb elvégezni, mint az esztergálást) teljesen eltérő viselkedés várható, és más szerszámminőségek bizonyulnak megfelelőnek. [26]



11. ábra. Megmunkálási sebességek keményfém lapkával duplex rozsdamentes acél esztergálására [15]

Rozsdamentes acél (vagy a megmunkálási adatok)	Keményfém		Gyorsacél
	Nagyolás	Simítás	
	Sebesség [m/min]	Sebesség [m/min]	Sebesség [m/min]
S32101	170-240	200-280	20-30
Sovány duplex (2304)	120-160	150-210	150-210
2205	90-120	120-160	120-160
Szuperduplex	50-70	70-105	70-105
Fordulatonkénti előtolás (mm/fordulat)	0,3-0,6	0,3-0,6	0,3-0,6
Fogásmélység (mm)	2-5	2-5	2-5
Kategória	2304, 2205: ISO P20-P35 (C5) Szuperduplex: ISO P30-P50	2304, 2205: ISO P10-P15 (C6-C7) Szuperduplex: ISO P25-P35	Magas minőség

2. táblázat. Megmunkálási irányelvek duplex rozsdamentes acélok esztergálásához [15, 16]

Az alkalmazott szerszámlapkák

Pozitív geometriájú szerszámokkal kell dolgozni. A duplex minőségek nagyon hajlamosak az alakítási keményedésre. Tompa kiképzésű szerszámnál a felület felkeményedik és a szerszám élettartama csökken. [2]

Bevonatos szerszámmal elkerülhetjük az élrátét képződést. Éles szerszámmal dolgozzunk, mert a kopott él növeli a felkeményedés veszélyét. Nagyobb előtolás mellett kedvezőbb a forgácsolak és nagyobb hőmennyiség távozik a forgáccsal. Nagy hatékonyságú hűtő-kenő anyagot használjunk. Fúrásnál a belső hűtés minimálisra csökkenti a felkeményedést. Kis

forgácsoló sebességgel kezdjük egy sorozat megmunkálását, mert eltérő lehet a különböző gyártási adagok forgácsolhatósága. [10]

Napjainkban alkalmazott bevonatok legalább három előnnyel rendelkeznek a régebbiekkel szemben:

- a bevonatok jobban tapadnak az alapfémhez (ezért nagyobb teljesítményre képesek),
- a CVD eljárás sokkal vastagabb bevonati réteg felvitelét teszi lehetővé (a forgácsolóél védelme javul, az éltartam pedig növekszik),
- a CVD eljárás a többrétegű bevonatok számos variációját teszi lehetővé (a rétegek kombinálásának eredményeként olyan bevonatrendszer hozható létre, amelyben minden egyes réteg megőrzi kedvező, sajátos mechanikai, fizikai stb. tulajdonságait, a végeredmény pedig olyan teljesítőképesség-növekedés, amely nem lenne elérhető bármelyik réteg egyedi alkalmazása mellett). [17]

A teljesítőképesség fokozásának fenti eredményeit elsősorban a termeléssel szembeni piaci elvárások növekedése és a szerszámgyártó cégek versengése segítette elő. A korszerű termelési folyamatnak az alábbi jegyekkel kell rendelkeznie:

- nagy termelékenység, amely kizárólag kedvező költségű gyártórendszerekkel érhető el,
- megfelelő mértékű rugalmasság, amelyekkel teljesíthetők a növekvő dinamikájú piac elvárásai (kisebb sorozatnagyságok, rövidebb termékélet stb.),
- a kívánt megbízhatóság, amely a termék (és annak alkatrészei) előírt minőségére vonatkozik. [17]

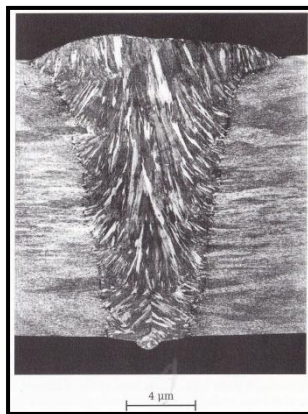
A nagyobb mechanikai szilárdság miatt az anyag nehezebben munkálható meg a hőképződés, forgácsolási erők és forgácskezelés szempontjából. A gyakori kopási mechanizmusok a fogfelületi és kráterkopás, képlékeny alakváltozás, forgács által okozott ütőmunka és horonykopás. [17]

2.3 Hegesztés, korrózióállóság

2.3.1 Hegesztés

A duplex acélok hegesztésekor fontos, hogy a fázisarányt 30-70% (40-60%) ferrit értéken tartsuk, bár inkább azt kell hangsúlyozni, hogy az ausztenit mennyiségének el kell érnie legalább 30%-ot. [7]

A duplex acélok hegesztésekor nemcsak előmelegítésre nincs szükség, de korlátozni kell 150 [°C]-os értéken a több sorban hegesztett varratoknál (12. ábra) a rétegek között megengedhető maximális hőmérsékletet is. A karbidkiválás, a σ fázisképződés valamint a szemcsedurvulás elkerülése érdekében a hegesztéshez alkalmazott vonalenergiát lehetőleg a 2 [kJ/mm] érték alatt kell tartani. [9]



12. ábra. Duplex acél hegesztése [26]

2.3.2 Korrózióállóság

Lyuk és réskorrózió: A lyuk- és a réskorrózióval szembeni ellenállást gyakran az anyag lyukkorróziós egyenértékével (PRE) fejezik ki. Kiszámításának leggyakrabban alkalmazott képlete:

$$PRE_N = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo) + 16 \times (\%N) \quad [26]$$

$$PRE_W = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo + 0,5 \times \%W) + 16 \times (\%N) \quad [26]$$

A PRE-érték különböző korrózióálló acélok összehasonlítására használható. A kritikus lyukkorróziós hőmérséklet (CPT) alapján pontosabban besorolhatók az acélok. [2]

Szuperduplex S32520 PRE_W értéke: 41. [26]

Kloridos és szulfidos feszültségkorróziós repedések: Mindegyik duplex minőség sokkal ellenállóbb a kloridos közegben végbemenő feszültségkorróziós repedéssel (SCC) szemben, mint a hagyományos ausztenites minőségek. Így növelt hőmérsékleten is ellenállnak a nagyobb klórtartalom hatásának. Hidrogénszulfidok és kloridok jelenlétében (például a savanyú kémhatású fűrólyukakban és földgázkutakban), kis hőmérsékleten nő a feszültségkorróziós repedés veszélye. Ilyen környezet például az olaj- és a földgázkutak fűrólyukaiban alakulhat ki. [2]

Korróziós kifáradás és szemcsesközi korrózió: Nagy mechanikai szilárdságuk és a nagyon jó korrózióállóság eredményeként a duplex acélok kitűnően ellenállnak a korróziós

kifáradásnak is. A duplex mikroszerkezete és a kis karbontartaloma miatt nagyon nagy ellenállást mutat a szemcseközi korrózióval szemben is. [2]

Eróziós korrózió: A korrózióálló acélok általában jól ellenállnak az eróziós korrózióknak. Nagy felületi keménységük és jó korrózióállóságuk miatt a duplex acélok különösen ellenállóak ezzel az igénybevétellel szemben. [2]

Elektrokémiai korrózió: Elektrokémiai korrózió akkor mehet végbe, amikor két különböző (pl. összehegesztett) fém egy elektrolit közvetítésével elektromos kapcsolatba kerül. A korrózióálló acélok a legtöbb esetben kevésbé reakcióképesek, mint a többi fémes anyag. A nemesebb fémnél védőhatás jelentkezik, viszont a kevésbé nemes fémnél súlyos korrózió következik be. A szénacélból készült betonacélokkal érintkező korrózióálló acélok a betonban nem idézik elő a szénacél elektrokémiai korrózióját a beton magas pH-ja miatt. Két különböző minőségű korrózióálló acél között nem lép fel elektrokémiai korrózió, ha mindkettő passzívált állapotban van. [2]

Légköri korrózió: Amikor a korrózióálló acélt agresszív légkör hatásának teszik ki, először foltosodik (néha ezeket teafoltoknak nevezik), de idővel helyi korrózió is kialakulhat a felületen, különösen nagy klorid tartalomnál, például tengeri légkörben. Már rendelkezésre áll egy olyan duplex minőség, mely minden típusú légkörben alkalmazható. [2]

3. A duplex acélok gyártástechnológiája

Duplex acélok gyártása a tervezőasztaltól a késztermékig finomprecíziós öntéssel készült technológia során a bicskei Magyarmet Finomöntőde Bt.-ben:

3.1 Gyártási folyamat

A gyártás első lépései:

- 3 dimenziós modell megtervezése
- dermedés szimuláció elemzése a SoftCast nevű szoftverrel
- prototípus alkatrészek nyomtatása Object technológiával
- öntési és forgácsolási tervek készítése
- bokorelemek kialakítása
- öntő tégely és beömlő tölcések tesztelése, elemzése

Kerámiaformák kialakítása és a gyártástechnológia kivitelezésük:

- kerámiaszóró anyagok tesztelése
- kerámiamártó anyagok tesztelése
- mártási technológiák készítése
- kerámia készítés és az üzemi ellenőrzések kialakítása
- viasz kiolvasztási technológia kialakítása

Duplex acél alapanyagok összeállítása, öntése és ellenőrzése:

- alapanyagok elemzése és tesztelése
- speciális tégelyek készítése
- az öntési technológia kialakítása
- alapötvözetek összetételének ellenőrzése
- öntőformák méretellenőrzése
- öntés
- hőkezelés
- minőséget igazoló eljárások kialakítása
- repedés és röntgenvizsgálatok

Forgácsolási szimulációs eljárások kidolgozása, a forgácsolási művelet elvégzése:

- forgácsolási szimulációk készítése
- forgácsoló berendezések és eszközök kiválasztása

- megmunkált alkatrészek méretellenőrzése
- visszaméretezési jegyzőkönyvek készítése

3.2 A bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. és a duplex acélok

A minden tekintetben leterhelt finomprecíziós öntésszettel foglalkozó vállalatot komoly feladat elé állították 2012 áprilisában. Egy fontos alkatrészt megtervezni, majd legyártani olyan anyagból, amely ellenáll szélsőséges időjárási körülményeknek, a tengervíznek, fagynak, vagy akár az olajnak is. Ezek a darabok a 2012. évi londoni nyári olimpiai játékokra készültek és az energiaszállításban játszottak fontos szerepet. Nagy híre lett a cégnek a sajtóban is – 13. ábra.

Öntvény a tengerben

SIKER Az olimpiai energiaellátásában működik közre az üzem

Bicske (H) – Rohamtempóban készítette el a Magyarmet Finomöntöde Bt. a brit partok mentén tengerben álló 180 szélérőmű kábelvezető házait. Az üzemben készített öntvények az olimpia energiaigényének biztosításához járulnak hozzá.

A londoni olimpia energiaigényét a megélvőkön kívül 180 szélérőmű hivatott biztosítani. A britek bezárták atomerőműveiket, s nem túl régen derült ki számukra, hogy a szigetország szokásos energiakapacitása nem fedezi az olimpia idejének fokozott igényét. 180 szélérőművet telepítettek a brit partok közelébe, a tengerre, s nem a szárazföldre, hogy értékes területet ne raboljanak el, s a lakosságot se zavarják vele. A megújuló energia hasznosítása korszakos, a megvalósítás kiváló, ám a szélérőműveknek volt egy roppant gyenge pontja: az összekötő kábeleket tartó elem nem bírta a tengervíz roncsoló hatását. A Pipeline Ltd. egy amerikai multinacionális cég angol leányvállalata már ismerte a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. teljesítményét, így felkeresték Győri Imre igazgatót, nem tud-e megoldást a problémára. Tudott.

– A tervezés és a technológiai lánc felépítésére alig egy hónapra jutott, de sikerült – mondja nem túl-köszövéssel az igazgató.

– Három magyar mérnökünk dolgozott két angol kollégával áprilistól júliusig, az angolok hetente ingáztak a kontinens és a szigetország között. Anglia ugyan a precíziós öntvények hazája, ott mégsem talált a megrendelő cég megfelelő kivitelezőt a foglapháznak, vagy kábelfo-

gódháznak nevezett szuperduplex acélból készült öntvény megalkotására. Mi megfeleltünk a kihívásnak. A hétvégen érkezik meg az utolsó szállítmánya Angliába a 360 darabos kollekciónak, amelyeket folyamatosan helyeznek le a tenger fenekére. Heti 72 garnitúra-

vasztásos technológiájú speciális öntvényeket, mára Európa és Kína is számon tartja a megfelelő szakmai berkeken belül a kisváros határában működő üzem kvalitásait.

– A munka elején az angol kollégák megmutatták az elképzeléseiket, amelyek azonban mégsem hozták meg a kívánt eredményt – magyarázza el Győri Imre a laikusoknak is érthetően a folyamatot. – A kábelfogóház formát mi terveztük meg, a technológiát mi dolgoztuk ki, s új gépet vásároltunk. Az elején túlóráztunk is, sürgöztünk bennünket az angolok, illetve a határidő – sorolja az alig négyhónapos(!) feszített tempó állomásait.

Elkészültek. Hibajelzés nem érkezett, az olimpiai start-

pisztoly átvitt értelemben is eldőrlülhet. Győri Imre úgy véli, új szakaszt nyitottak az eddig is sikeres cég életében, szakmailag és anyagilag is megérte a nagy vállalkozásba belevágni. A magyarmetesek a 2012-es londoni olimpiát kicsit más szemmel nézik majd, mint bárki más Magyarországon.

Győri Imre tudott megoldást

Itt az olimpiát kicsit más szemmel nézik majd, mint bárki más Magyarországon

rát csomagoltunk be, az egyenként 30 kilogrammos öntvényből kettőt használtak fel egy-egy szélérőmű fogadó- és továbbító kábelének rögzítéséhez – összegzi Győri Imre.

A bicskei Magyarmetben 31. éve készítenek vaszkio-

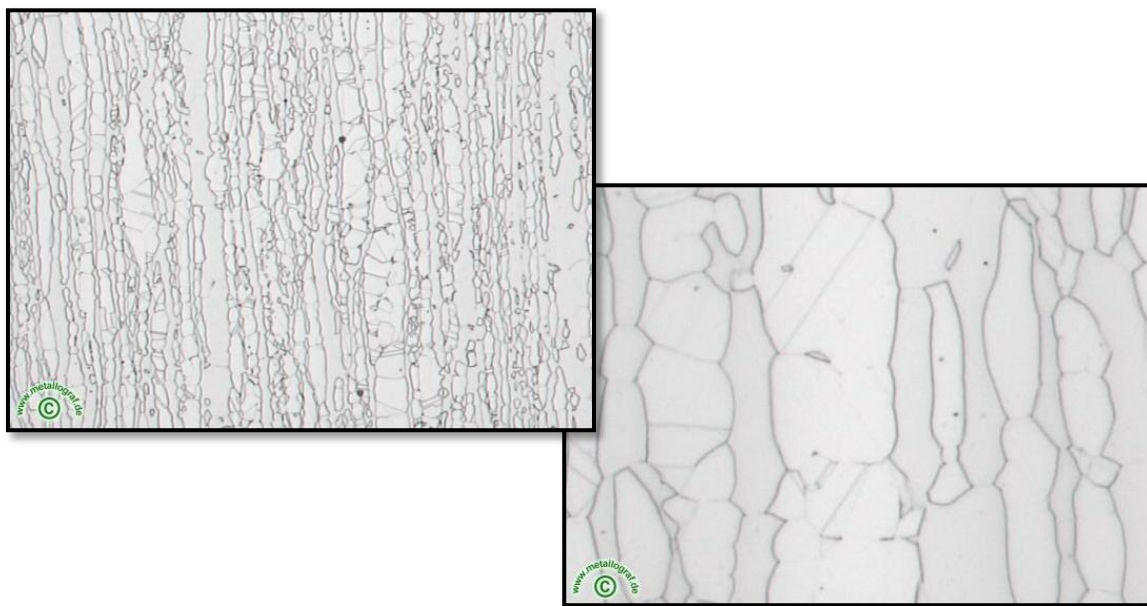
13. ábra. A bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt.-ről írt cikk [12]

A tervezésben néhány magyar mérnök vett részt két angol kollégával. Pro/ENGINEER Wildfire 5 nevű programban megtörtént a modellezés, majd ezt követően az előbb leírt műveleti sort hajtották végre. Az anyagnak a 1.4469 EN szabvány szerinti besorolású duplex acélt választották, amelyik típuson mi is végeztük a vizsgálatokat.

3.2.1 Az EN 1.4469 szuper duplex acél jellemzői

Összetétel: GX2CrNiMoN26-7-4

Szén % max. 0,03; szilícium % max. 1,00; mangán % max. 1,00; foszfor % max. 0,035; kén % max. 0,025; króm % 25,00-27,00; molibdén % 3,00-5,00; nikkel % 6,00-8,00. Nitrogén is található benne, melynek mennyisége 0,12-0,22 % közötti. Réz max. 1,3. Oldó izzító hőkezelés 1120-1150 °C-on történt, vízben hűtve. Szövetszerkezetéről mikroszkópos kép a 13. ábrán látható.



13. ábra. EN 1.4469 duplex acél szövetszerkezete 200:1 és 500:1 arányban [11]

3.2.2 Duplex acélok megmunkálása Bicskén

A fogólapház egy jobb illetve egy bal oldali szegmensből áll. A ház csatlakozó átmérőjével megkülönböztettek két méretet, $\varnothing 150$ és $\varnothing 180$. A kész munkadarabokat összepárosították, hogy az esztergálás művelete során egyszerre foghassák fel őket, így biztosítva az egymáshoz való jobb illeszkedést, ezt a 14. ábrán láthatjuk.



14. ábra. A két fél összepárosítva

A 15. ábrán láthatjuk az első megmunkálást. Ez CNC megmunkáló központokon történt, marták bizonyos felületeiket, illetve furatokat készítettek el rajtuk. A 16. ábrán bemutatjuk azokat a gépeket, ahol a megmunkálás folyt.



15. ábra. Marási művelet NCT-EmR 1020D CNC megmunkáló központon

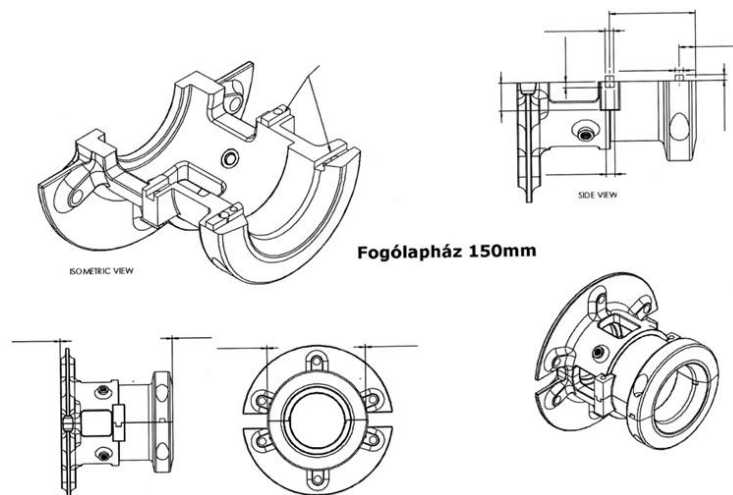


16. ábra. Deckel Maho DMC 70V, NCT-EmR 1020D és NCT TMV 1050A CNC megmunkáló központon végzett marási művelet

Az esztergálási művelet NCT-GD-5DT CNC esztergán történt, mint azt a 17. ábrán láthatjuk. Vezérlése NCT 104T, a megmunkálási programot használtuk fel az idők kiszámításához. A 18. ábrán láthatjuk a 150 [mm]-es fogólapház műhelyrajzát.



17. ábra. NCT-GD-5DT CNC eszterga



18. ábra. 150 [mm]-es fogólapház

A csatlakozó részt esztergálták meg. Mivel nem munkáltak még meg előtte ilyen anyagot, így nem voltak betartandó helyi szabványok, előírások az anyag megmunkálására, így az ott dolgozó munkások tapasztalataik alapján próbálták megmunkálni az anyagot. Előtolási sebességet, fogásmélységet, forgácsolási sebességet, lapka milyenségét, hűtő-kenő folyadék minőségét tudták változtatni, és próbáltak optimalizálni sokszor tudományos háttér nélkül tapasztalati úton. Több száz szerszámlapkát elhasználtak esztergálás során, mire meglett a néhány száz munkadarab.

Simító NC program részlet CNC esztergán (NCT-GD-5DT):

Használt lapka: WNMG080412. A főorsó maximális fordulatszáma 150 [ford/perc]-ben volt korlátozva („G92 S150”), a konstans forgácsolási sebesség 70 [m/perc] („G96 S70”) volt.

„G92 S150

G96 S70

...

T404 (WNMG080412)

M4

G0 X193 Z2

G1 G41 X193 Z0 F.15

X184.696 ,R3

X152 Z-35.134 ,R18

Z-45

G0 X148

G40 X148

G0 Z50

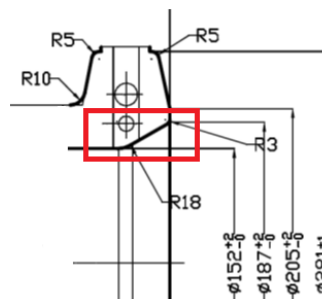
M0

G0 X193 Z2
 G1 G41 X193 Z0 F.15
 X185.696 ,R3
 X152.5 Z-35.134 ,R18
 Z-45
 G0 X150
 G40 X150
 G0 Z50

M0”

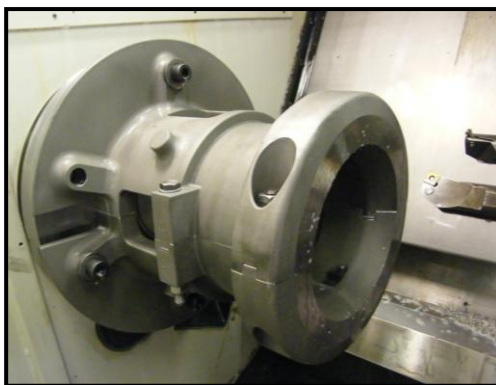
Ebben a programrészletben (aminek pályáját az 19. ábra mutatja) láthatjuk, hogy az előtolási sebesség simításkor 0,15 [mm/ford] volt. Nem a bicskei műhelyben történt az idők kiszámítása, ezt külön programmal végeztük. NCT 200 PC nevű szimulátort használtunk ahhoz, hogy megnézzük egy kiválasztott programrészletben, hogy mennyi volt a cégnél konkrétan egy lapka használati ideje a simítás során. Erre az időre 2 perc és 57 másodperc adódott. Tehát láthatjuk, hogy a kiválasztott programrészletben a lapka használati ideje nagyon kevés.

M0 programozott állj parancsot használtak arra az ott dolgozók, hogy egy fogásvétel után az elhasználódás miatt lapkát cseréljenek, így el tudtuk könnyedén különíteni a programrészeket egymástól.



19. ábra. A programrészlet alatt megmunkált pálya

A megmunkálás folyamatát a 20., 21. és 22. ábrán láthatjuk.

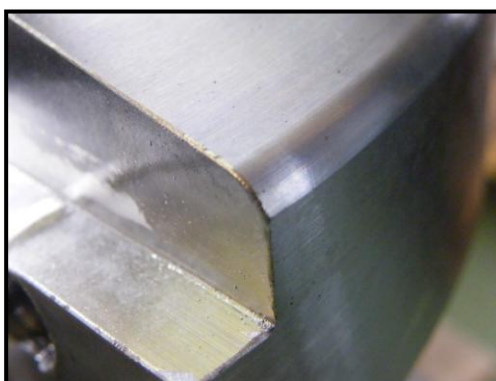


20. ábra. Fogólapház homlokfelületének esztergálása

Optimalizálni úgy sikerült, hogy körülbelül 4-5 percig bírta egy lapka. Itt figyelembe vettek sok tényezőt. Kisebb fogásmélységgel, kisebb előtolási sebességgel több ideig is kibírták volna, de szoros volt a határidő, ezért sietni kellett.



21. ábra. Készre esztergált munkadarab



22. ábra. A fogólapház marási, sorjázási és esztergálási műveletek után

3.2.3 Cégnél alkalmazott szabványok a duplex acélokra

A szabványok a cégnél az összetételre, hőkezelésre vonatkoznak, és nem a megmunkálásra, megmunkálhatóságra, mivel a cég nagyobb profitját az öntészet teszi ki, így ott több szabványosítás található.

A duplex rozsdamentes acélok ajánlott összetételét a fokozott mechanikai tulajdonságok és a korrózióállóság érdekében, és a hőkezelési előírásokat tartalmazza ez a szabvány. A ferrit mennyiség előre nem meghatározható, de körülbelül 30 és 60 % között lesz az aránya az ausztenit mellett. Azt a megrendelő döntheti el, hogy milyen minőségűt vásárol, ez függ az igényektől, mechanikai tulajdonságoktól és a korrózióállósági jellemzőktől.

Nem ajánlott 315 [°C] felett használni.

Kémiai összetétel

Az acélnak meg kell felelni a követelményeknek és be kell tartani a táblázatban leírt értékeket.

Nyúlási tulajdonságok

Egy vizsgálatot kell végezni minden egyes hőmérsékleten, és annak meg kell felelnie a megfelelő táblázat adatainak.

[21]

Hőkezelés

megjegyzés – Ezen öntvények megfelelő hőkezelése szükséges hogy fokozza a korrózióállóságot, és megvalósítsa a kívánt mechanikai tulajdonságokat. A minimális hőkezelési hőmérsékletek vannak megadva, azonban néha szükséges magasabb hőmérséklet is, azokon a minimális ideig hőntartani, és gyorsan lehűteni az öntvényt a korrózióállóság és a jó mechanikai tulajdonságok elérése érdekében. [22]

4. Felhasznált gépek, berendezések

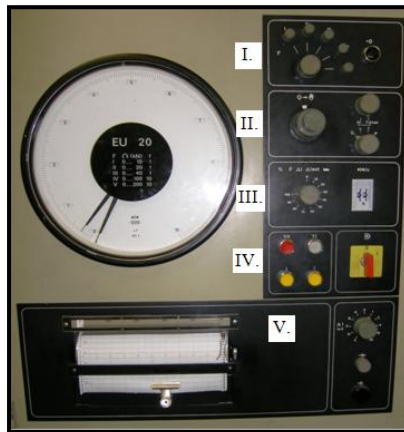
A TDK munka alatt a gépek használatában segítséget nyújtottak a tanszéken dolgozó technológusok. A szakítást Bicskén végeztük, az esztergálást, felületi érdesség mérést, és a keménységmérést az egyetemen. A munkálatok során el kellett sajátítani a gépek kezelését, a beállítási struktúrájukat megérteni. Ebben a fejezetben a mérési folyamat esetleges reprodukálhatósága miatt összefoglaljuk az általunk használt gépek, illetve berendezések működésének elvét, és ezenkívül ismertetjük a legjellemzőbb paramétereiket is.

WPM Leipzig EU 20 szakítógép

A szakítógép 1986-os gyártmányú, gyári száma 990.05/20. Mérési tartománya 0-10; 0-20; 0-40; 0-100; 0-200 [kN], üzemi nyomása 35 [MPa]. A gép a bicskei Magyarmet Fimomöntöde Bt. laboratóriumában található. A szakítógép a 23. ábrán látható, az erőmérő berendezés a működtető táblájának fő részeivel a 24. ábrán. A fő részeket külön bemutatjuk, a mérés menetét ismertetjük. Egy nyers szakítási próbatestet a 25. ábrán láthatunk, szabványos próbatestet pedig a 26. ábrán mutatjuk be az előírt geometriával.



23. ábra. Szakító berendezés



24. ábra. Az erőmérő berendezés működtető táblájának fő részei

A működtető tábla fő részei:

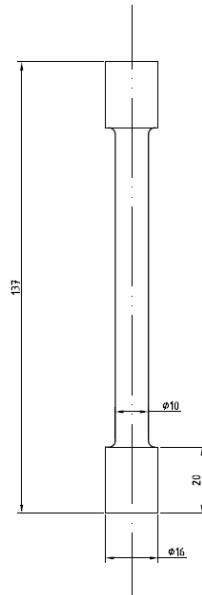
- I. Méréshatár váltó a hozzátartozó nullázó potméterrel
- II. Kézi sebességszabályzó és vezérlés állító kapcsoló
- III. Automatikus üzemmód beállító felület
- IV. Főkapcsoló
- V. Diagram rajzolása és a nyúlásmérés határváltó kapcsoló

A mérés menete:

- A próbatest elkészítése, előkészítése és méreteinek meghatározása
- A szakítógép bekapcsolása
- A diagram rajzolás beállítása és nagyító fokozat kiválasztása
- Traverz mozgatásával a próbatest befogása
- A nulla pont beállítása (vonszolt mutatóval)
- Előterhelés ráadása, pumpa bekapcsolásával
- Főterhelés ráadása és a szakítósebesség beállítása
- $F_{\max}$ leolvasása a szakítógépről
- Szükséges adatok meghatározása a szakító diagram alapján



25. ábra. Nyers szakítási próbatest



26. ábra. Szabványos szakítási próbatest

AVK Budapest KV-1 keménységmérő

Az 27. ábrán láthatjuk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem G épületében álló KV-1 keménységmérő berendezést, amellyel mértük az anyagunk keménységét. Gyártási szám: 64-2239. Erre a mérésre külön testeket öntöttek, egy ilyen mutat a 28. ábra.



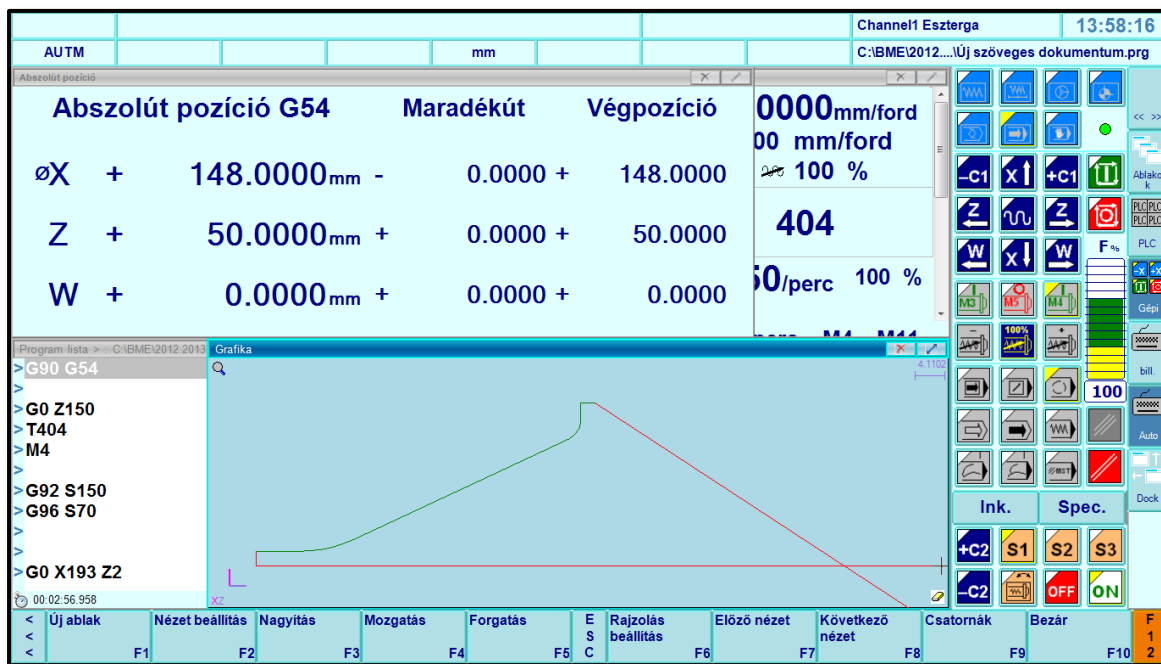
27. ábra. KV-1 Brinell keménységmérő



28. ábra. Nyers test a keménység mérésére

NCT 200 PC szimulátor

A szimulátort a magyar NCT cég 2012.09.07-én dobta piacra. A program modern lehetőséget biztosít arra, hogy a megírt programokat leszimuláljuk használat előtt, észrevegyük, hogy nincs-e benne semmi hiba, időket számoljunk, sőt még tanulásnak is kiváló. Kezelőfelületét a 29. ábrán láthatjuk.



29. ábra. NCT 200 PC szimulátor kezelőfelülete

Potisje USA-250 egyetemes esztergagép

A Műegyetem G épületében található gépet az 30. ábra szemlélteti. Ezen a gépen végeztük a dolgozatunk alapjául szolgáló méréseket. A beállításban, beállításokban egy technológus segített nekünk. Típuszáma: 70553, gyári száma: 6728. A gép régi, 1986-os gyártmányú vízszintes főorsójú, jugoszláv gyártmányú eszterga. A gép tömege 2600 [kg], viszonylag nehéz. Névleges teljesítménye 55 [kW], névleges áramfelvétele 11,5 [A], névleges feszültsége 380 [V]. A tokmány és a szegnyereg közötti maximális távolság 2000 [mm], az ágy felett elfordulható maximális átmérő 320 [mm]. Ezekből látszik, hogy ez a mi munkálatainkhoz egy nagyon nagy gép. Maximális fordulatszáma a gép adattáblájáról leolvasva 1500 [ford/min]. Nem fokozat nélküli, így csak 22; 31,6; 46,7; 67,2; 97; 150; 220; 316; 467; 672; 970; 1500 [ford/min] értékekkel lehet dolgozni rajta.



30. ábra. Potisje USA-250 egyetemes esztergagép – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – „G” épület

Taylor-Hobson Surtronic 10 R_a felületi érdességmérő berendezés

A különböző beállítási paraméterekkel elvégzett műveletek után vizsgáltuk a felület minőségét a 31. ábrán látható dán gyártmányú felületi érdességmérő berendezéssel, majd ezeket ki is értékeltük. A működéséről annyit, hogy egy kis fedelet kell eltolni, hogy a gyémánt mérőfej automatikusan végig tudjon tapintani körülbelül 10 [mm] hosszú szakaszt, és aztán ki tudja értékelni annak átlagos felületi érdességét. Tehát minimum 10 [mm] hosszon kellett esztergálni ahhoz, hogy pontos eredményt kapjunk. A berendezés gyári száma: 112/1540 - 1347585. A mérhető maximális érdesség 16,7 [μm].



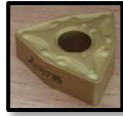
31. ábra. Taylor-Hobson Surtronic 10 R_a felületi érdességmérő

Mitsubishi WNMG080408 – MA US735 lapka

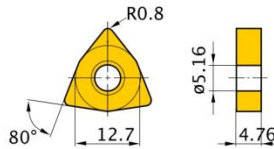
ANSI jelölés: WNMG432MA

A lapkákat a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. biztosította számunkra a munka során. A TiN bevonatú szinterezett keményfém lapka geometriája „Trigon”, erre utal az ISO

kódjában szereplő W betű. Ezt a 0°-os hátszöggel rendelkező lapkát a 32. ábrán láthatjuk. A lapka geometriáját kirészletezve a 33. ábra mutatja be.



32. ábra. Mitsubishi WNMG080408 keményfém lapka

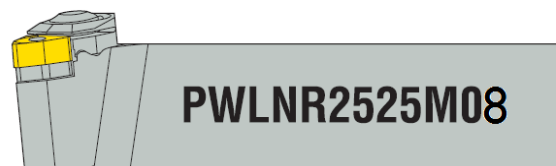


33. ábra. Lapka geometriája [29]

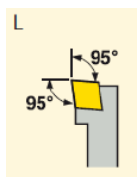
Igaz, hogy az ajánlott forgácsolási sebességtartomány ezzel a lapkával 90-170 [m/min], de mi mégis sokszor kevesebbel dolgoztunk az anyagunk tulajdonságai miatt.

SECO PWLNR2525M08 ISO azonosító jelű esztergakés

Az 34. ábrán látható SECO PWLNR2525M08 ISO azonosító jelű esztergakést szintúgy a bicskei Magyarmet biztosította számunkra. Az élek elhelyezkedését a 35. ábra mutatja be.



34. ábra. SECO esztergakés [13]



35. ábra. Szerszám típusa [13]

5. A vizsgálati feladat végrehajtása

A vizsgálatunk célja az volt, hogy a duplex rozsdamentes acél forgácsolási technológiáját optimalizáljuk egyetemes esztergagépen. Jelen dolgozat során a simító esztergálást vizsgáltuk. Ez a vizsgálat azért volt fontos, hogy azok a cégek, ahol ezeknek az anyagoknak a megmunkálása egyetemes esztergagépen történik, tudjon ötletet meríteni a kapott eredményekből, be tudja állítani a kezdeti paramétereket a megmunkálás során. Az általunk készített diagramokat meg tudják vizsgálni, a néhány oldalban összefoglalt irodalomkutatást át tudják tanulmányozni, ugyanis egyes (feltehetően pesszimista) szakemberek szerint a szerszámválasztási döntések közel nyolcvan százaléka téves.

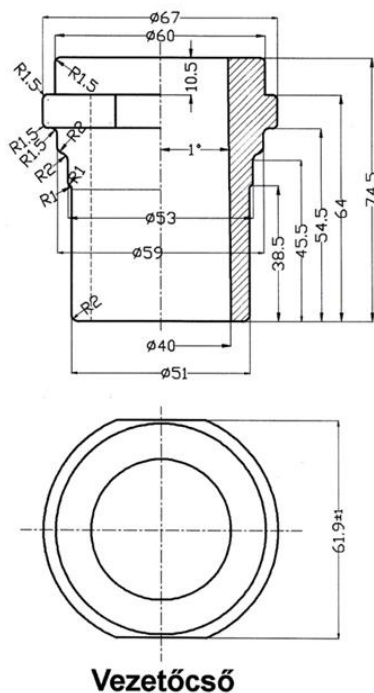
A képekkel alátámasztott dolgozat sokszor könnyebb megértést jelent az olvasó számára. A TDK dolgozat elkészítése során mértük a darabok szakítószilárdságát, keménységét, a szerszámlevegő élettartamát percben, a leválasztott forgács mennyiségét [cm³]-ben, és az előállított felület átlagos felületi érdességét.

5.1 A darabok legyártása

A darabokat a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. gyártotta le nekünk kísérleti célra. A gyártási folyamatot az 36. ábra mutatja be, aminek a lépéseit előbb már leírtuk. Mivel a vizsgált darabok öntvények, ezért előfordulhatnak benne lunkerek, öntési hibák, rossz esetben kerámiadarabok jelenhetnek meg a külső felületén. Összesen 48 darab készült el a 36. ábrán látható műszaki rajz szerint, emellett 8 darab törési próbatest, néhány darab szakítószilárdság mérésére szolgáló próbatest, és keménység mérésére szolgáló darabokat is készítettek. A gyártás során a cég folyamatosan nyomon tudta követni, rögzíteni a folyamatot. Például az egyik legfontosabb dokumentum a hőkezelési jegyzőkönyv, melyet a 39. ábra mutat be.



36. ábra. Bicskén még 1.4308 acélból megmunkált darabot a mi vizsgálataink miatt 1.4469-ből legyártották



37. ábra. Az öntött kísérleti munkadarab méretei

A bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. repülőgépipari előírásoknak megfelelően termel. Ennek megfelelően nagyon szigorúan előírt szabványok szerint gyárt. A duplex 1.4469 termékeket az MSZ EN 10213:2008 szerinti paraméterekkel gyártotta le. Az 38. ábrán lévő adatsorok a szabványban előírt értékeket mutatják. Ezek az értékek megfelelnek az általunk kapott eredményeknek.

Az acélminőség		Sűrűség kg/dm ³	Közepes hőtágulás 10 ⁻⁶ K ⁻¹			Hővezetés W/(m·K)		Fajhő J/(kg·K)	Mágneses tulajdonságok
jelle	számjelle	20 °C-on	20 °C-tól 100 °C-ig	20 °C-tól 300 °C-ig	20 °C-tól 500 °C-ig	50 °C- on	100 °C- on	20 °C-on	
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	7,7	13	14	–	17	18	450	Észre- vehetően mágneses

Az acélminőség		Hőkezelés			Vastag- ság mm	Szakítóvizsgálat				Útővizsgálat
jelle	számjelle	Jel ^o	Normalizálás (+N) vagy edzés (+Q) vagy oldó hőkezelés (+AT) °C	Megeresztés °C		R _{p0,2} MPa* min.	R _{p1,0} ^b MPa* min.	R _m MPa*	A %	KV J min.
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	+ AT	1140–1180 ^f	–	t ≤ 150	480	–	650– 850	22	50 ^g

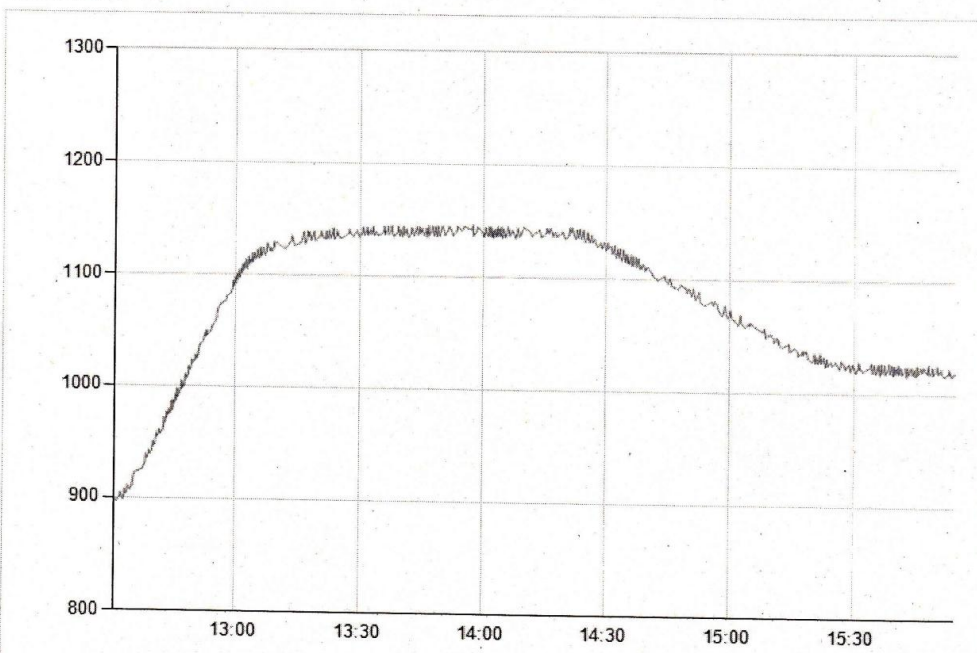
38. ábra. MSZ EN 10213:2008 szerinti előírások



Hőkezelési jegyzőkönyv

Cikkszám: CNA-01777-01	Megnevezés: Vezetőcső	Rajzszám: DRC-01777-C03	Rendelés szám: GY12-00048NU
Anyagjel / Anyagszám 1.4469*B	Tömeg [kg] 0,80 kg	Össztömeg [kg] 38,40 kg	Alkatrész menny.: 48 db
Kért mechanikai értékek: 192-252 HB	Mérési előírás: HBW30	Mért mechanikai érték: 229	Dátum: 2012. 10. 11. 12:31
Művelet: ausztenítés Hőkez. Retortás 1 Berendezés:	PRG Adagszám 13816	Napló Adagszám 4028	Öntési adagszám 4195,4192
Megjegyzés:			
Művelet kezdete:	2012. 10. 11. 12:30	Paraméter:	1120 / 60 / 1020 / 30 / v.
Munkafolyamat vége	2012. 10. 11. 15:55	Hűtés:	vízben mozgatva

Hőmérséklet - °C



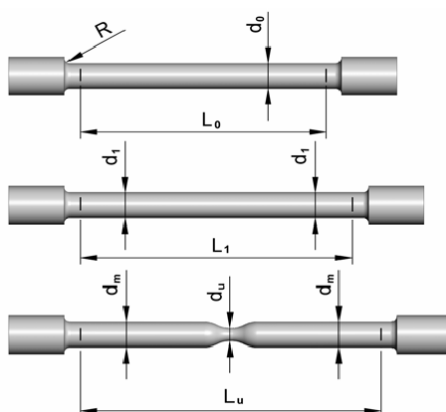
39. ábra. Hőkezelési jegyzőkönyv

5.2 Mérési eredmények

5.2.1 Szakítószilárdság mérése

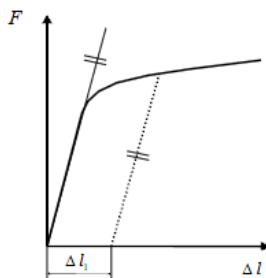
Az irodalomkutatás során talált „jónak” minősített (720-1000 [MPa]) szakítószilárdsági értékeket a WPM Leipzig EU 20 szakítógéppel mértünk a saját darabjainkon a dolgozatunk kezdetekor. Kíváncsiak voltunk arra, hogy milyen értékek adódtak valójában az 1.4469 duplex acél szakítószilárdságára.

A vizsgálatot a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. laboratóriumában végeztük el. A mérés alatt normál szobahőmérséklet uralkodott, 20 [°C] volt. A légköri nyomás 100400 [Pa] volt. A deformálódott próbatest alakját az egyes jellemző szakaszokban az 40. ábra mutatja.



40. ábra. Deformálódott próbatest alakja az egyes jellegzetes szakaszokban [24]

A megmunkált próbatest átmérőjét 3 különböző helyen mértük, egyenként egymásra két merőleges irányban, majd ezekből számoltunk egy átlagot, majd ebből egy keresztmetszetet. Mértük az eredeti hosszt, majd a szakítási hosszt, és ezek különbségét számolhattuk könnyedén. Az $F_{p0.2}$ erő szerkesztéssel határozható meg, melyet a 40. ábra szemléltet.



41. ábra. Az $F_{p0.2}$ erő értelmezése [24]

F_m a próbatestet a vizsgálat során érő legnagyobb terhelőerő a folyáshatár túllépése után. Ez a vizsgálat során kapott diagramokból olvasható le. Az $F_{p0.2}$ erőből számítható a terhelte állapotban mért egyezményes folyáshatár az első képletből.

$$R_{p0.2} = \frac{F_{p0.2}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (1)$$

Az F_m -ből pedig a szakítószilárdság értéke számítható a második képletnek megfelelően.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (2)$$

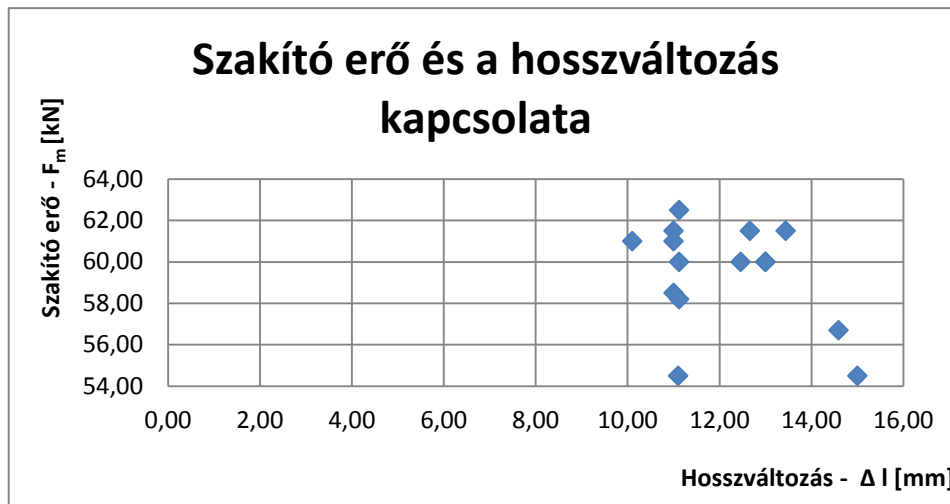
A hosszváltozásokból a százalékos szakadási nyúlás határozható meg a harmadik képletnek megfelelően.

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} * 100\% \quad (3)$$

A számításokat a 3. táblázat összegzi, majd egy diagramban szemléltettük – 42. ábra, hogy van-e kapcsolat a szakító erő (F_m [kN]) és a maximális hosszváltozás (Δl [mm]) között.

Sorszám	Átmérők							Kereszt- metszet	Foly. erő	Szak. erő	Eredeti hossz	Szakít. hossz	Hossz- változás	Folyás- határ	Szakítási szilárd.	Szakadás- nyúlás
	(három, páronként egymásra merőleges mérési irányban)															
	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	3/2	átlag									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	kN	kN	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	%
1	10,05	10,05	10,05	10,06	10,02	10,02	10,04	79,20	47,00	60,00	50,00	63,00	13,00	593,47	757,62	26,0
2	10,06	10,07	10,09	10,09	10,06	10,07	10,07	79,70	48,00	61,50	50,00	61,00	11,00	602,29	771,68	22,0
3	10,02	10,02	10,03	10,03	10,01	10,01	10,02	78,85	47,00	60,00	50,00	61,12	11,12	596,04	760,90	22,2
4	10,05	10,06	10,06	10,07	10,05	10,06	10,06	79,46	48,00	61,50	50,00	63,44	13,44	604,09	773,99	26,9
5	10,06	10,05	10,07	10,08	10,05	10,05	10,06	79,49	47,00	61,50	50,00	62,66	12,66	591,31	773,73	25,3
6	10,05	10,05	10,05	10,05	10,03	10,03	10,04	79,22	48,50	61,00	50,00	60,10	10,10	612,20	769,99	20,2
7	9,96	9,96	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	78,02	47,00	54,50	50,00	61,10	11,10	602,43	698,56	22,2
8	10,01	10,01	10,02	10,02	10,00	10,01	10,01	78,72	48,00	54,50	50,00	65,00	15,00	609,73	692,30	30,0
9	9,98	9,98	10,01	10,00	10,00	10,00	10,00	78,46	49,00	58,50	50,00	61,00	11,00	624,51	745,59	22,0
10	10,00	10,00	9,99	9,98	10,00	10,00	10,00	78,46	49,00	60,00	50,00	63,00	13,00	624,51	764,71	26,0
11	10,04	10,04	10,04	10,05	10,05	10,05	10,05	79,25	50,00	60,00	50,00	62,46	12,46	630,93	757,11	24,9
12	9,98	9,99	9,99	9,99	9,98	9,98	9,99	78,30	48,00	56,70	50,00	64,59	14,59	612,99	724,10	29,2
13	10,03	10,04	10,06	10,06	10,05	10,06	10,05	79,33	49,00	62,50	50,00	61,12	11,12	617,69	787,88	22,2
14	9,90	9,72	9,88	9,78	9,88	9,77	9,82	75,76	48,00	61,00	50,00	61,00	11,00	633,55	805,14	22,0
15	9,86	9,97	9,88	9,96	9,92	9,81	9,90	76,98	50,00	58,20	50,38	61,50	11,12	649,55	756,07	22,1
Átlag	10,00	10,00	10,01	10,01	10,00	9,99	10,00	78,61	48,23	59,43	50,03	62,14	12,11	613,69	755,96	24,22

3. táblázat. A vizsgálat során kapott eredmények



42. ábra. A vizsgálat során kapott szakító erő és a hosszváltozás szemléltetése

Láthatjuk, hogy semmi összefüggés sincs a szakító erő és a hosszváltozás között. Ezt az összes kapott eredményről elmondhatjuk, ezeknek az értékeknek a valószínűségét nem lehet meghatározni, csak nagyságrendileg.

5.2.2 Brinell keménység mérése

Kíváncsiak voltunk a vizsgálatunk megkezdésekor az anyag általunk mért HB keménységére is. Ezt egy külön erre a célra öntött darabon vizsgáltuk, mivel a hengeres test megmunkálás után vékony volt, deformálódott volna. A keménységet az öntött, és az általunk megmárt felületen is megvizsgáltuk. Szerettük volna tudni, hogy van-e a kapott keménység értékek között különbség. Ezt egy AVK Budapest KV-1 típusú keménységmérő berendezéssel mértük a Műegyetem G épületében.

Mérési körülmények: terem hőmérséklete: 18,5 [°C], légköri nyomás 100270 [Pa] volt. 10 mérést végeztünk mind a nyers felületen, mind a megmunkált felületen. Az eredményeket az 4. táblázatban szemléltetjük.

Sorszám	Nyers felület	Megmunkált felület
1	258	260
2	258	259
3	259	258
4	260	259
5	259	258
6	259	260
7	260	259
8	260	259
9	261	260
10	260	258
Átlag	259,4	259,0

4. táblázat. Brinell keménység mérés során kapott eredmények

A kapott eredményekből látható, hogy nem függ attól a felület keménysége, hogy megmunkált-e vagy nyers-e a felület. A megmunkálás során jelentkező sorjásodás és lapkakopás tehát nem ennek az eredménye. Ebből a táblázatból még azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az elvégzett forgácsolás után nem mérhetünk felületi felkeményedést. Elméleti átváltását más keménységekre az 5. táblázat mutatja.

SZAKÍTÓ SZILÁRDSÁG N/MM ²	VICKERS KEMÉNYSÉG HV	BRINELL KEMÉNYSÉG HB	ROCKVELL KEMÉNYSÉG	
			HRB	HRC
870	272	258		26

5. táblázat. Keménység összehasonlító táblázat [30]

5.2.3 Az anyag forgácsolástechnológiai vizsgálata egyetemes esztergán

A vizsgálatunk kezdetekor találni kellett egy eljárási módszert, ahogy haladni fogunk. Ezt az irodalomkutatásra alapozva alkottuk meg, illetve az üzemi mérnökök mondtak utasításokat azzal kapcsolatban, hogy hogyan is kezdjük a mérést.

Mivel ezt a fajta anyagminőséget üzemi körülmények között CNC esztergán dolgozták meg előttünk itt az üzemben, így a technológiai paramétereket onnan vettük. A kezdeti forgácsolási sebességet a CNC esztergán végzett sebesség 80 [%]-a körül állapítottuk meg. A forgácsolási sebesség ott 70 [m/min] volt, így mi a kezdetben $70 * 0,8 = 56$ [m/perc] forgácsolási sebesség körül kezdtünk el dolgozni az 51 [mm] kezdeti átmérőjű darabon. Azért vettünk vissza 20 [%]-ot, mert intenzív hűtés nem valósítható meg az egyetemes esztergán.

$$v = r * \omega \quad (4)$$

$$v = r * 2 * \pi * n \quad (5)$$

ahol

v [m/perc]	forgácsolási sebesség
r [mm]	sugár
ω [radián/perc]	szögsebesség
n [ford/min]	fordulatszám

$$56 \left[\frac{m}{perc} \right] = \frac{0,051 [m]}{2} * 2 * \pi * n$$

$$\frac{56 \left[\frac{m}{perc} \right] * 2}{0,051 [m] * 2 * \pi} = n$$

$$n \cong 350 \left[\frac{ford}{min} \right]$$

Tehát az első választáshoz tartozó fordulatszám a negyedik és ötödik képletből számolható, 350 [ford/min]. A darabon hosszesztergálni maximálisan 40 [mm]-t tudtunk.

Kezdetben az előtolási sebességünk 0,15 [mm/fordulat] körüli maradt. Ezt a főorsó fordulatszáma határozta meg. Ezen értéket biztos pontnak tekintve meg kellett találni azt a forgácsolási sebességet (a fogásmélység is adott volt – 0,8 [mm]), ahol a lapka éltartama a legtöbb ideig bírja. A fogásmélységet azért tekintettük adottnak, mert egyszerre az összes paramétert nem változtathattuk. Közben mértük a felületi érdességet úgy, hogy az 2,2 [R_a]-tól rosszabb ne legyen, mert akkor már a lapkát elhasználódottnak tekintettük, fordíthattunk rajta. Akkor is elhasználódottnak tekintettük, amikor például méretpontatlanság vagy sorjásodás jelentkezett. A kapott paramétereket átlagoltuk. Miután megtaláltuk a legoptimálisabb sebességet, azután a fogásmélység paraméterét változtattuk. A fogásmélységet úgy határoztuk meg az üzemi mérnökökkel együtt (itt odafigyeltünk az irodalomkutatás során kapott eredményekre is), hogy 0,8 [mm] körül legyen a kezdeti érték, és e fölé, illetve alá mehetünk adott esetben. A szerszámgyártó cégek adatai alapján az előírt fogásmélység simító megmunkálásnál 0,5-2 [mm] között van, előtolási sebesség pedig 0,1-0,3 [mm/ford].

A vizsgálat során a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – „G” épületében dolgoztunk egy Potisje USA-250 egyetemes esztergagépen. A vizsgálatoknál segített nekünk Szűcs László úr. A 5-15 [%]-os hűtő-kenő folyadék biztosított volt a mérés egésze során, bár nem olyan intenzitással, mint ahogyan egy CNC esztergán lehetett volna.

A hosszesztergálást 40 [mm] hosszon végeztük, innen a számolt értékek.

Az 1. fogásban leválasztott forgács mennyisége:	$Q_{1.fogás}=5,046 \text{ [cm}^3\text{]}$
Az 2. fogásban leválasztott forgács mennyisége:	$Q_{2.fogás}=4,886 \text{ [cm}^3\text{]}$
Az 3. fogásban leválasztott forgács mennyisége:	$Q_{3.fogás}=4,725 \text{ [cm}^3\text{]}$
Az 4. fogásban leválasztott forgács mennyisége:	$Q_{4.fogás}=4,564 \text{ [cm}^3\text{]}$
Az 5. fogásban leválasztott forgács mennyisége:	$Q_{5.fogás}=4,403 \text{ [cm}^3\text{]}$

Az átlagos felületi érdesség és az egyenetlenség magasság kapcsolatát a 6. képletben láthatjuk, az egyenetlenség magasságának kiszámítását előtolásból a 7. képlet írja le. A kettőt összevonva a 8. képletet kapjuk.

$$R_z = 4 * R_a \quad (6)$$

$$R_z = \frac{f^2}{8 * r_\epsilon} \quad (7)$$

$$R_a = \frac{f^2}{4 * 8 * r_\epsilon} \quad (8)$$

r_ϵ [mm] a lapka csúcssugara, esetünkben: 0,8 [mm]

f [mm/ford] előtolás

R_a [μm] átlagos felületi érdesség

R_z [μm] egyenetlenség magasság

A következőekben leírtuk a mérési eredményeket, a mért átlagos felületi érdességek szórását hibásávokban ábrázoltuk a szemléltetés végett.

1. mérés

fordulatszám: $n=316 \text{ [ford/min]}$

fogásmélység: $a=0,8 \text{ [mm]}$

előtolás: $f=0,14 \text{ [mm/ford]}$

Számított átlagos felületi érdesség az előtolásból a nyolcadik képlet alapján:

$$R_a = \frac{0,14^2}{4 * 8 * 0,8}$$

$$R_a = 0,7 \text{ [}\mu\text{m}\text{]}$$

Forgácsolási sebesség kiszámítása az ötödik képletből:

$$v = r * \omega$$

$$v = r * 2 * \pi * n$$

$$v = \frac{0,051 [m]}{2} * 2 * \pi * 316 [\frac{ford}{min}]$$

$$v \cong 50 [\frac{m}{min}]$$

Ez a sebesség érték a 70 [m/min] sebességnek 71,4 %-a.

Számoljuk ki, hogy hány fordulatot tesz meg a 40 [mm] hosszon. Egyenes arányosságot állítunk fel.

$$0,14 [mm] \rightarrow 1 [fordulat]$$

$$40 [mm] \rightarrow x$$

$$x = 285,7 [fordulat]$$

Számoljuk ki, hogy ezt a fordulatot mennyi idő alatt teszi meg, itt is egyenes arányosságot állítunk fel.

$$316 [fordulat] \rightarrow 1 [min]$$

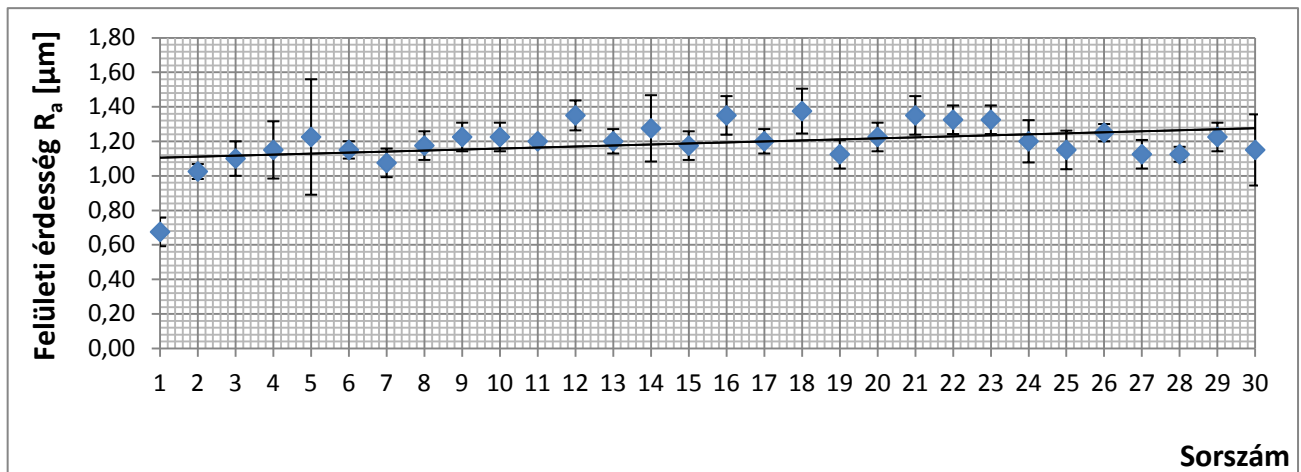
$$285,7 [fordulat] \rightarrow y$$

$$y = 0,9 [perc] \cong 54 [sec]$$

A kapott eredményeket a 6. táblázatban összesítettük, majd számoltuk az értékek szórását.

Sorszám	Felületi érdesség értékek					Szórás
	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}	Átlag	
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	
1	0,6	0,8	0,7	0,6	0,68	0,0829
2	1,0	1,1	1,0	1,0	1,03	0,0433
3	1,0	1,2	1,0	1,2	1,10	0,1000
4	1,0	1,0	1,4	1,2	1,15	0,1658
5	1,8	1,1	1,0	1,0	1,23	0,3345
6	1,2	1,1	1,1	1,2	1,15	0,0500
7	1,0	1,1	1,0	1,2	1,08	0,0829
8	1,1	1,1	1,3	1,2	1,18	0,0829
9	1,3	1,1	1,3	1,2	1,23	0,0829
10	1,1	1,3	1,3	1,2	1,23	0,0829
11	1,2	1,2	1,2	1,2	1,20	0,0000
12	1,3	1,3	1,5	1,3	1,35	0,0866
13	1,2	1,2	1,3	1,1	1,20	0,0707
14	1,0	1,5	1,4	1,2	1,28	0,1920
15	1,1	1,2	1,3	1,1	1,18	0,0829
16	1,3	1,2	1,5	1,4	1,35	0,1118
17	1,1	1,2	1,3	1,2	1,20	0,0707
18	1,5	1,5	1,2	1,3	1,38	0,1299
19	1,2	1,2	1,0	1,1	1,13	0,0829
20	1,2	1,3	1,1	1,3	1,23	0,0829
21	1,5	1,4	1,2	1,3	1,35	0,1118
22	1,2	1,4	1,3	1,4	1,33	0,0829
23	1,3	1,2	1,4	1,4	1,33	0,0829
24	1,1	1,1	1,2	1,4	1,20	0,1225
25	1,1	1,2	1,0	1,3	1,15	0,1118
26	1,2	1,2	1,3	1,3	1,25	0,0500
27	1,2	1,2	1,0	1,1	1,13	0,0829
28	1,2	1,1	1,1	1,1	1,13	0,0433
29	1,3	1,1	1,3	1,2	1,23	0,0829
30	1,5	1,0	1,0	1,1	1,15	0,2062

6. táblázat. n=316 [ford/min] a=0,8 [mm] f=0,14 [mm/ford]



43. ábra. A felületi érdesség romlik a megmunkálás során - 316 [ford/min], 0,8 [mm], 0,14 [mm/ford]

Az 43. ábrán látható, hogy a felületi érdesség folyamatosan romlik. A vizsgálat kezdetekor a forgács optimális hosszat vett fel (nem hosszú, nem apró darabos). A lapkát a mérési feladat során vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a főél kopott a 4. méréstől kezdődően, így sorjásodás lépett fel. A forgács hossz nőtt. Ugyan nem mértünk erőket, de ezekből arra következtetünk, hogy az előtolás irányú erő megnövekedett a kopástól kezdődően. A mérés során előrehaladva az időben és megvizsgálva a lapkát arra az eredményre jutottunk, hogy a következő fázis a csúcskopás. Emiatt a fogásvétel irányú erő növekedett meg. A főforgácsoló erő mind a főél kopásnál, mind a csúcskopásnál jelentkezik, de a legdinamikusabban a passzív erő nő meg.

Ezeknél a mérési paramétereknél arra következtetünk, hogy nem optimális a megmunkálás, mivel nagyon lassú a folyamat. Hiába bírja sokáig a lapka, de a darabszám nem növekszik számottevően. Így nem is mentünk el a lapka éltartamának a végéig.

Összes megmunkálási idő számítása:

$$t_1 = 30 * 54 [\text{sec}] = 27 [\text{min}]$$

Összes leválasztott forgács számítása:

$$Q_1 = 6 * (5,046 + 4,886 + 4,725 + 4,564 + 4,403) \cong 141 [\text{cm}^3]$$

2. mérés

fordulatszám: $n=672$ [ford/min]

fogásmélység: $a=0,8$ [mm]

előtolás: $f=0,14$ [mm/ford]

Számított átlagos felületi érdesség az előtolásból a nyolcadik képlet alapján:

$$R_a = \frac{0,14^2}{4 * 8 * 0,8}$$

$$R_a = 0,7 [\mu m]$$

Forgácsolási sebesség kiszámítása az ötödik képletből:

$$v = r * \omega$$

$$v = r * 2 * \pi * n$$

$$v = \frac{0,051 [m]}{2} * 2 * \pi * 672 [\frac{ford}{min}]$$

$$v \cong 107 [\frac{m}{min}]$$

Ez a sebesség érték a 70 [m/min] sebességnek 152,8 %-a.

Számoljuk ki, hogy hány fordulatot tesz meg a 40 [mm] hosszon.

$$0,14 [mm] \rightarrow 1 [fordulat]$$

$$40 [mm] \rightarrow x$$

$$x = 285,7 [fordulat]$$

Számoljuk ki, hogy ezt a fordulatot mennyi idő alatt teszi meg.

$$672 [fordulat] \rightarrow 1 [min]$$

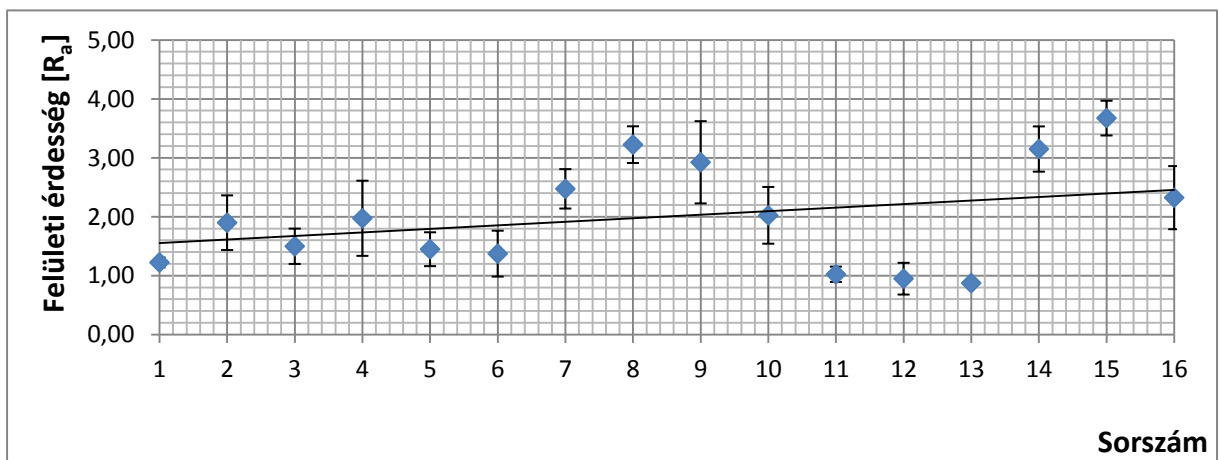
$$285,7 [fordulat] \rightarrow y$$

$$y = 0,43 [perc] \cong 25,5 [sec]$$

A kapott eredményeket a 7. táblázatban összesítettük, majd számoltuk az értékek szórását.

Sorszám	Felületi érdesség értékek					Szórás
	R_{a1}	R_{a2}	R_{a3}	R_{a4}	Átlag	
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	
1	1,20	1,30	1,30	1,10	1,23	0,0829
2	1,60	2,40	2,30	1,30	1,90	0,4637
3	2,00	1,40	1,40	1,20	1,50	0,3000
4	2,50	1,20	1,50	2,70	1,98	0,6379
5	1,40	1,10	1,40	1,90	1,45	0,2872
6	1,10	1,00	2,00	1,40	1,38	0,3897
7	2,10	2,90	2,20	2,70	2,48	0,3345
8	3,00	2,90	3,30	3,70	3,23	0,3112
9	2,90	3,60	3,40	1,80	2,93	0,6978
10	2,20	2,30	1,20	2,40	2,03	0,4815
11	1,10	0,80	1,10	1,10	1,03	0,1299
12	0,70	1,40	0,80	0,90	0,95	0,2693
13	0,90	0,90	0,90	0,80	0,88	0,0433
14	2,50	3,50	3,30	3,30	3,15	0,3841
15	4,00	3,70	3,20	3,80	3,68	0,2947
16	2,70	1,40	2,60	2,60	2,33	0,5356

7. táblázat. $n=672$ [ford/min] $a=0,8$ [mm] $f=0,14$ [mm/ford]



44. ábra. A felületi érdesség romlik a megmunkálás során - 672 [ford/min], 0,8 [mm], 0,14 [mm/ford]

Az 44. ábrán látható, hogy a felületi érdesség folyamatosan romlik. A vizsgálat kezdetekor a forgács optimális hosszát vett fel itt is úgy, mint az előző mérésnél. A második fogásvételtől kezdődően sorjásodást tapasztaltunk, a darabok „foltosak” lettek, azaz vannak rajta ráolvadt részek, de azt el lehetne távolítani a darabról utómunkálással, le lehet csiszolni. Szemmel láthatóan bizonyos megállások után megjelentek szigetek, amelyeknek a felületi érdessége eltérő (kiugró értékek a diagramban). Itt a hibasávokban a szórás értéke is megnőtt. Azonban különös az volt, hogy szemel láthatóan javult a felületi érdesség

néhány megállás után. Valószínűleg az élszak távolodott el. Itt is tapasztalhatnánk azt az erők megváltozásánál, mint az első mérésnél. A hetedik fogásvételnél azt tapasztaltuk, hogy a megmunkált munkadarab első körülbelül 15 [mm]-es hosszán a felületi érdesség szemmel láthatóan is rosszabb volt, a következő 25 [mm]-ben pedig jobb. A lapkánál a rádiusz végénél észre lehet venni szemmel látható kopást.

Összes megmunkálási idő számítása:

$$t_2 = 30 * 54 [\text{sec}] = 6 [\text{min}] 48 [\text{sec}]$$

Összes leválasztott forgács számítása:

$$Q_2 = 3 * (5,046 + 4,886 + 4,725 + 4,564 + 4,403) + 5,046 \cong 75 [\text{cm}^3]$$

3. mérés

Azt feltételeztük, hogy a külső felület keményebb, és emiatt tönkremegy az él → megkezdődik a sorjásodás, élrátét képződik. Feltételezéseinket úgy szeretnénk volna igazolni, hogy az előző lapkával az új darabról a külső réteget leválasztjuk, és egy új lapkával kezdjük meg a forgács eltávolítását. Arra az eredményre jutottunk, hogy annak nincs jelentősége, hogy a külső réteg másik lapkával van-e eltávolítva, vagy sem, ugyan úgy sorjásodást figyelhetünk meg. Ezt a következtetést keménységméréssel alá is támasztottuk.

fordulatszám: $n=467 [\text{ford/min}]$

fogásmélység: $a=0,8 [\text{mm}]$

előtolás: $f=0,14 [\text{mm/ford}]$

Számított átlagos felületi érdesség az előtolásból a nyolcadik képlet alapján:

$$R_a = \frac{0,14^2}{4 * 8 * 0,8}$$

$$R_a = 0,7 [\mu\text{m}]$$

Forgácsolási sebesség kiszámítása az ötödik képletből:

$$v = r * \omega$$

$$v = r * 2 * \pi * n$$

$$v = \frac{0,051 [\text{m}]}{2} * 2 * \pi * 467 \left[\frac{\text{ford}}{\text{min}} \right]$$

$$v \cong 74 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Ez a sebesség érték a 70 [m/min] sebességnek 105,7 %-a.

Számoljuk ki, hogy hány fordulatot tesz meg a 40 [mm] hosszon.

$$0,14 \text{ [mm]} \rightarrow 1 \text{ [fordulat]}$$

$$40 \text{ [mm]} \rightarrow x$$

$$x = 285,7 \text{ [fordulat]}$$

Számoljuk ki, hogy ezt a fordulatot mennyi idő alatt teszi meg.

$$467 \text{ [fordulat]} \rightarrow 1 \text{ [min]}$$

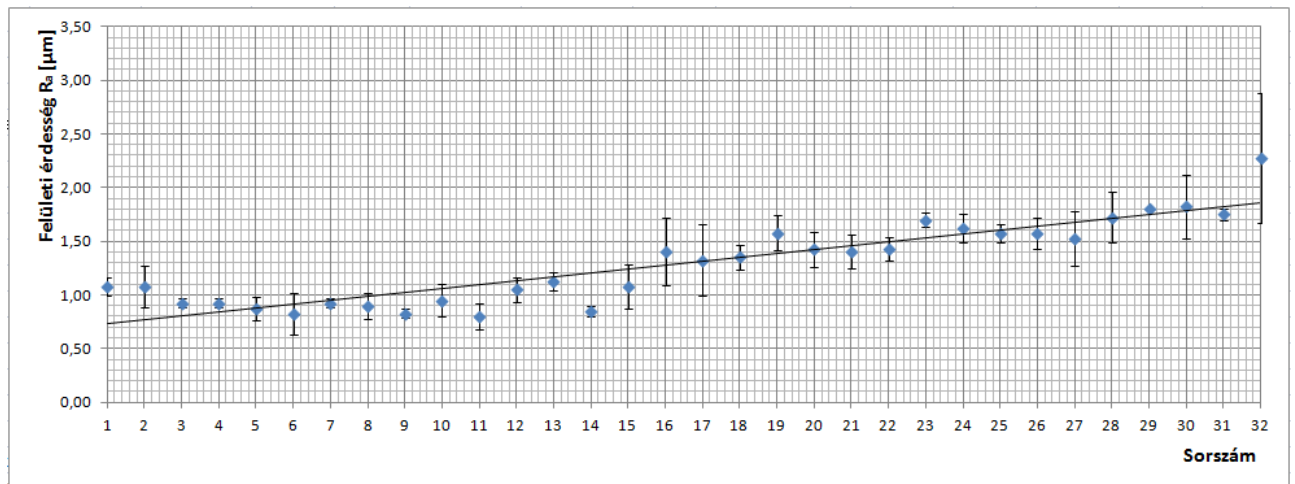
$$285,7 \text{ [fordulat]} \rightarrow y$$

$$y = 0,61 \text{ [perc]} \cong 36,7 \text{ [sec]}$$

A kapott eredményeket a 8. táblázatban összesítettük, majd számoltuk az értékek szórását.

Sorszám	Felületi érdesség értékek					Szórás
	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}	Átlag	
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	
1	1,1	1,2	1,0	1,0	1,08	0,0829
2	1,2	1,0	1,3	0,8	1,08	0,1920
3	1,0	0,9	0,9	0,9	0,93	0,0433
4	0,9	0,9	1,0	0,9	0,93	0,0433
5	0,7	1,0	0,9	0,9	0,88	0,1090
6	0,7	0,6	1,1	0,9	0,83	0,1920
7	0,9	0,9	1,0	0,9	0,93	0,0433
8	1,1	0,8	0,9	0,8	0,90	0,1225
9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,83	0,0433
10	0,9	1,2	0,9	0,8	0,95	0,1500
11	0,8	1,0	0,7	0,7	0,80	0,1225
12	1,1	1,0	1,2	0,9	1,05	0,1118
13	1,1	1,2	1,2	1,0	1,13	0,0829
14	0,8	0,9	0,9	0,8	0,85	0,0500
15	0,9	1,4	1,1	0,9	1,08	0,2046
16	1,6	1,8	1,0	1,2	1,40	0,3162
17	1,6	1,1	1,7	0,9	1,33	0,3345
18	1,3	1,5	1,2	1,4	1,35	0,1118
19	1,6	1,3	1,7	1,7	1,58	0,1639
20	1,3	1,7	1,4	1,3	1,43	0,1639
21	1,5	1,6	1,2	1,3	1,40	0,1581
22	1,3	1,4	1,4	1,6	1,43	0,1090
23	1,7	1,8	1,6	1,7	1,70	0,0707
24	1,7	1,5	1,8	1,5	1,63	0,1299
25	1,5	1,5	1,6	1,7	1,58	0,0829
26	1,4	1,6	1,5	1,8	1,58	0,1479
27	1,6	1,9	1,3	1,3	1,53	0,2487
28	1,6	2,0	1,4	1,9	1,73	0,2385
29	1,8	1,8	1,8	1,8	1,80	0,0000
30	1,5	2,3	1,7	1,8	1,83	0,2947
31	1,7	1,7	1,8	1,8	1,75	0,0500
32	2,6	1,8	1,6	3,1	2,28	0,6057

8. táblázat. n=467 [ford/min] a=0,8 [mm] f=0,14 [mm/ford]



45. ábra. A felületi érdesség romlik a megmunkálás során - 467 [ford/min], 0,8 [mm], 0,14 [mm/ford]

A 45. ábrában szemléltettük az eredményeket. Azt az eredményt kaptuk, hogy minimálisan úgy is jelentkezik a sorjaképződés már a kezdetektől, ha a kéreget egy másik szerszámmal lemunkáltuk, és a megmunkált felületet kezdjük leválasztani az új lapkával. Oka, hogy a képlékeny alakítás miatt felkeményedik az acél. A lapka szinte csak tolja maga előtt a forgácsot, és nem dolgozik megfelelően. A sorjaképződést a 46. ábrán szemléltetjük.



46. ábra. Sorjaképződés az utolsó fogásvételkor – $n=467$ [ford/min] $f=0,14$ [mm/ford]

A sorjaképződés jelentősebben 15 perc után jelentkezik, de ez nem okoz a felületi érdesség minőségében számottevően romlást.

Az első fogásvétel után a munkadarab felületén már minimálisan lehetett érezni az érdességet. A negyedik fogásvétel után sorjaképződés jelentkezik, tehát nem jól visz a lapka. Viszont a felületi érdességek nagyon jó értékeket adtak. 9 percnyi használat után szabad kézzel felrakódások észlelhetők. A darabon változó felületi minőség, szigetek jelennek meg, de még mindig jó a felületi érdesség. Negyed órás használat után is jó a felületi érdesség, de méretszóródás és méretpontatlanság jelent meg, ami akkor nem jó, ha szigorú tűrés előírásoknak kell megfelelnie az alkatrésznek. 11 percnél (19-es mérés) szabad szemmel látható pöttyök jelentek meg, ami a felületi érdességben is mutatkozott, kiugró érték (itt 1,58 a felületi érdesség, előtte 1,35, utána 1,43), de ez valószínűleg élrátét miatt, mert a következő felületi érdességi értékek már a megszokott módon növekedtek. 14 percnél is kiugró értéket kaptunk (23-as mérési pont). Itt a passzív erő növekedése miatt léphetett fel pontatlanság.

Negyed óránál (25-ös mérési pont) erős sorjásodás figyelhető meg.

Ami jó megállapítás, hogy még 16 percnyi használat után sincs méretpontatlanság (27-es mérési pont), amit tolómérővel is ellenőriztünk, és a felületi érdesség is csak $R_a=1,53$.

18 perc után kézzel tapinthatóan szálkásodik a megmunkált felület (30-as mérési pont).

19 perc után abbahagytuk a mérést, mert a felületi érdesség is jelentősen romlott, a lapkán élszakadás képződött, szinte már képlékeny alakítás volt. A lapka tönkrement.

Összes megmunkálási idő számítása:

$$t_3 = 27 * 36 [sec] = 19 [min] 12 [sec]$$

Összes leválasztott forgács számítása:

$$Q_3 = 6 * (5,046 + 4,886 + 4,725 + 4,564 + 4,403) + 5,046 + 4,886 \cong 152 [cm^3]$$

4. mérés

Ebben a mérésben kettő fokozatot léptünk a fordulatszámváltóval, így 467 [ford/min]-ről 970 [ford/min]-re állítottuk, mert úgy gondoltuk, hogy a 672 [ford/min] még nem terheli meg számottevően a lapkát.

fordulatszám: $n=970 [ford/min]$

fogásmélység: $a=0,8 [mm]$

előtolás: $f=0,27 [mm/ford]$

Számított átlagos felületi érdesség az előtolásból a nyolcadik képlet alapján:

$$R_a = \frac{0,27^2}{4 * 8 * 0,8}$$

$$R_a = 2,8 [\mu\text{m}]$$

Forgácsolási sebesség kiszámítása az ötödik képletből:

$$v = r * \omega$$

$$v = r * 2 * \pi * n$$

$$v = \frac{0,051 [m]}{2} * 2 * \pi * 970 [\frac{ford}{min}]$$

$$v \cong 155 [\frac{m}{min}]$$

Ez a sebesség érték a 70 [m/min] sebességnek 221,4 %-a.

Számoljuk ki, hogy hány fordulatot tesz meg a 40 [mm] hosszon.

$$0,27 [mm] \rightarrow 1 [fordulat]$$

$$40 [mm] \rightarrow x$$

$$x = 148,1 [fordulat]$$

Számoljuk ki, hogy ezt a fordulatot mennyi idő alatt teszi meg.

$$970 [fordulat] \rightarrow 1 [min]$$

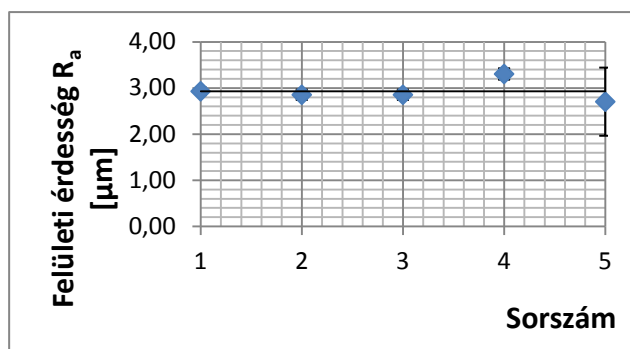
$$148,1 [fordulat] \rightarrow y$$

$$y = 0,19 [perc] \cong 9,2 [sec]$$

A kapott eredményeket a 9. táblázatban összesítettük, majd számoltuk az értékek szórását.

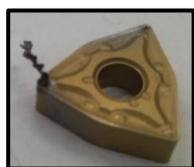
Sorszám	Felületi érdesség értékek					Szórás
	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}	Átlag	
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	
1	2,80	3,00	3,00	2,90	2,93	0,0829
2	3,00	2,90	2,80	2,70	2,85	0,1118
3	3,00	2,80	2,70	2,90	2,85	0,1118
4	3,30	3,50	3,20	3,20	3,30	0,1225
5	2,40	1,90	2,60	3,90	2,70	0,7382

9. táblázat. n=970 [ford/min] a=0,8 [mm] f=0,27 [mm/ford]



47. ábra. A felületi érdesség romlik a megmunkálás során - 970 [ford/min], 0,8 [mm], 0,27 [mm/ford]

Az eredményeket a 47. ábra szemlélteti. Az előtolási sebesség kisebb mértékben csökkenti az éltartamot, mint a nagy vágási sebesség, ezért emeltünk mindkettőn a mérés során. Ez a műveletsor már egy könnyű nagyolás. Látható, hogy a felületi érdesség értéke a kezdetektől magas. A vizsgálat egésze során szinte stagnál. A felületi érdesség romlása a lapka tönkremenetele, de főként a nagy előtolás miatt romlott. Kézzel tapintható az érdes felület. Az él tönkrement. Élrátét képződött, magas hő hatására a munkadarab ráégett a lapkára, ezt a 48. ábrán láthatjuk. A lapka magas affinitást mutatott a megmunkálandó anyag iránt. Ezen a nagy sebességen már egy egyetemes eszterga nem végez pontos munkát. Hallani lehetett, hogy berezgett a gép, merevebb rendszerre lenne szükség ilyen sebességnél. Ugyan nem lenne probléma akkor, ha a gép és a szerszám együtt rezegne, de itt nem ez jelentkezett. Kúpos lett a felület, méretpontatlanság lépett fel.



48. ábra. Magas affinitás miatt jelentkező probléma

Összes megmunkálási idő számítása:

$$t_4 = 5 * 9,2 [\text{sec}] = 46 [\text{sec}]$$

Összes leválasztott forgács számítása:

$$Q_4 = 1 * (5,046 + 4,886 + 4,725 + 4,564 + 4,403) \cong 23 [\text{cm}^3]$$

5. mérés

fordulatszám: $n=672$ [ford/min]

fogásmélység: $a=0,8$ [mm]

előtolás: $f=0,27$ [mm/ford]

Számított átlagos felületi érdesség az előtolásból a nyolcadik képlet alapján:

$$R_a = \frac{0,27^2}{4 * 8 * 0,8}$$

$$R_a = 2,8 [\mu\text{m}]$$

Forgácsolási sebesség kiszámítása az ötödik képletből:

$$v = r * \omega$$

$$v = r * 2 * \pi * n$$

$$v = \frac{0,051 [m]}{2} * 2 * \pi * 672 [\frac{ford}{min}]$$

$$v \cong 107 [\frac{m}{min}]$$

Ez a sebesség érték a 70 [m/min] sebességnek 152,9 %-a.

Számoljuk ki, hogy hány fordulatot tesz meg a 40 [mm] hosszon.

$$0,27 [mm] \rightarrow 1 [fordulat]$$

$$40 [mm] \rightarrow x$$

$$x = 148,1 [fordulat]$$

Számoljuk ki, hogy ezt a fordulatot mennyi idő alatt teszi meg.

$$672 [fordulat] \rightarrow 1 [min]$$

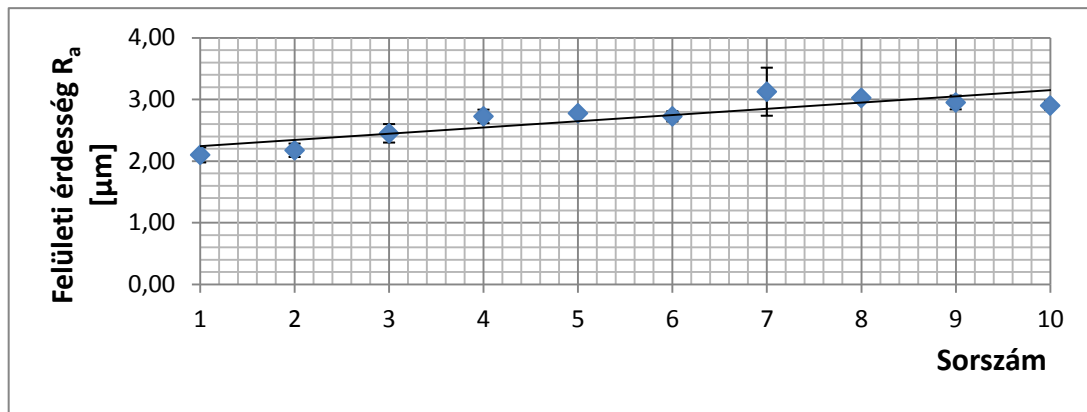
$$148,1 [fordulat] \rightarrow y$$

$$y = 0,22 [perc] \cong 13,2 [sec]$$

A kapott eredményeket a 10. táblázatban összesítettük, majd számoltuk az értékek szórását.

Sorszám	Felületi érdesség értékek					Szórás
	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}	Átlag	
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	
1	2,1	2,0	2,3	2,0	2,10	0,1225
2	2,2	2,0	2,3	2,2	2,18	0,1090
3	2,3	2,3	2,6	2,6	2,45	0,1500
4	2,9	2,6	2,7	2,7	2,73	0,1090
5	2,7	2,8	2,8	2,8	2,78	0,0433
6	2,8	2,6	2,8	2,7	2,73	0,0829
7	2,9	2,9	3,8	2,9	3,13	0,3897
8	3,0	3,0	3,0	3,1	3,03	0,0433
9	3,0	2,9	3,1	2,8	2,95	0,1118
10	3,0	2,9	2,9	2,8	2,90	0,0707

10. táblázat. n=672 [ford/min] a=0,8 [mm] f=0,27 [mm/ford]



49. ábra. A felületi érdesség romlik a megmunkálás során - 672 [ford/min], 0,8 [mm], 0,27 [mm/ford]

A 49. ábrán látható, hogy a felületi érdesség értéke folyamatosan romlott. Már a legelső fogásvétel után is nagy volt a felületi érdesség, a szórás kicsi. Két perc után élsisak, méretpontatlanság jelentkezett. A lapka romlását a magas hangjelenség kísérte. Méretpontatlanság, sorjásodás jelentkezett két perc után. A lapka szinte képlékenyen alakított.

Összes megmunkálási idő számítása:

$$t_5 = 10 * 13,2 [\text{sec}] = 2[\text{min}] 12[\text{sec}]$$

Összes leválasztott forgács számítása:

$$Q_5 = 2 * (5,046 + 4,886 + 4,725 + 4,564 + 4,403) \cong 47 [\text{cm}^3]$$

6. mérés

Az általunk gondolt mérések elvégzése után összehasonlításképpen egy másik, sokkal élesebb lapkával is nekikezdtünk a palástfelület forgácsolásnak. Ennek a lapkának pozitív geometriája van, élesebb homlokszöggel. Ennél a lapkánál a kisebb csúcssugár miatt nem tapasztaltunk sorjásodást, de sajnos az elvárás beteljesedett, szemmel láthatóan is nagymértékben romlott a felületi érdesség. Élrátét itt is jelentkezett az adhéziós kötés miatt. Az abrazív kopás viseli meg a munkadarabot. Használt kés ISO azonosító jele: SDJCR1616H11

Ezek után úgy gondoltuk, hogy kikérjük egy szerszámgyártó cég (Sandvik COROMANT) magyarországi képviselőjének véleményét. Ők a következő ajánlásokat tették nekünk. Az olcsóság miatt 6 mm-es élvonalhosszal rendelkező lapkát ajánlanak. Wiper geometriás lapkát, mely ugyanazon előtolás mellett fele akkora érdességi értéket ad. Így növelhető az előtolás, tehát a termelékenység is. A WNMG060408-WF 1125 váltólapkát ajánlják, mely körülbelül 20%-kal olcsóbb a most használt lapkától.

Megnéztük a cég honlapján is, hogy mit ajánlanak. A Sandvik COROMANT cég honlapján található ajánlásokat az 50. ábrán láthatjuk.

A munkadarab anyaga		F Simítás		M Közepes		R Nagyolás		Lapka általános alak
		Lapkageo- metria	Lapka- minőség	Lapkageo- metria	Lapka- minőség	Lapkageo- metria	Lapka- minőség	
Duplex rozsdamentes acél MC M3.4	○	-WF -MF	GC2015 GC1115	-MM	GC2025	-MR -PR	GC2025	Negatív 
	◐	-MF -MF	GC2025 GC1115	-MM -MR	GC2025 GC2025	-MR	GC2035	
	●	-MF -MF	GC2025 GC2035	-MM -MR	GC2035	-MR	GC2035	
	○	-MF -MF	GC2015 GC1115	-MM	GC2025	-MR	GC2025	Pozitív 
	◐	-MF -MF	GC2025 GC1115	-MM	GC2025	-MR	GC2035	
	●	-MF -MF	GC2025 GC2035	-MM	GC2035	-MR	GC2035	

Megmunkálási feltételek

○ Jó feltételek

◐ Átlagos feltételek

● Nehéz feltételek

50. ábra. Első választást jelentő geometria- és minőségajánlások [17]

6. Költségoptimalizálási számítások

Az előírt forgácsolási munkákat a lehetőségekhez képest minimális ráfordítással kell végrehajtani. gazdaságos élettartam meghatározásával az előző fejezetben foglalkoztunk, a diagramokból következtetéseket vontunk le. Az könnyedén belátható, hogy a legfontosabb költségtényező a gyártással eltöltött idő. Ennek a költségtényezőnek egyik fontos összetevője optimális körülmények között a fajlagos forgácstérfogattal fejezhető ki (9. képlet).

$$\dot{V} = \frac{Q_i}{t_i} \left[\frac{cm^3}{min} \right] \quad (9)$$

ahol Q_i az egy lapkával maximálisan leválasztható forgácsmennyiség [cm^3]
 t_i egy lapka élettartama adott technológiával

Megfelelő felületi érdesség megtartása mellett nagy fajlagos forgácstérfogat leválasztása simító esztergálással tehát optimális előtolással, optimális fogásmélységgel és optimális forgácsolási sebességgel valósítható meg. Nem hagyható figyelmen kívül azonban olyan lényeges adat sem, mint a szerszám élettartama, amely adat a költségek szempontjából szintén jelentős tényező. A fajlagos forgácstérfogat és az élettartam összefüggéseinek egybevetése alapján eldönthető, hogy mely adat növelése célszerűbb. Gyakorlati számítások során a gazdaságos forgácsolási adatok meghatározását a forgácsszélesség meghatározásával célszerű kezdeni. A forgács szélességének növelése nem tetszőleges, mivel ennek határt szab a ráhagyás. A ráhagyást lehetőleg egy fogással kell leválasztani.

A szerszám szempontjából még megengedhető az a forgácsolóerő, melynek hatására a keletkező feszültség nem lépi túl a megengedett feszültséget. A szerszámgép szempontjából részben a megengedett igénybevételt nem szabad túllépni, részben megszabja a forgácsolóerőt (ill. nyomatékot) a szerszámgép motorteljesítménye. Az egyes esetekben kiszámolt fajlagos forgácstérfogat a 9. képlet szerint:

$$\dot{V}_1 = \frac{141 [cm^3]}{27 [min]} = 5,2 \left[\frac{cm^3}{min} \right]$$

$$\dot{V}_2 = \frac{75 [cm^3]}{6,8 [min]} = 11,0 \left[\frac{cm^3}{min} \right]$$

$$\dot{V}_3 = \frac{152 [cm^3]}{19,2 [min]} = 7,9 \left[\frac{cm^3}{min} \right]$$

$$\dot{V}_4 = \frac{23 \text{ [cm}^3\text{]}}{0,8 \text{ [min]}} = 30,0 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right]$$

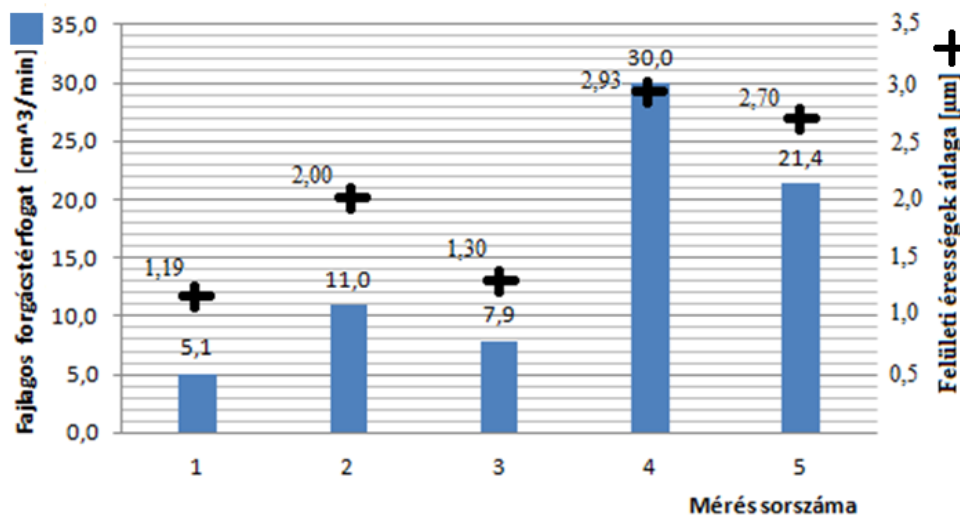
$$\dot{V}_5 = \frac{47 \text{ [cm}^3\text{]}}{2,2 \text{ [min]}} = 21,4 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right]$$

Az eredményeket táblázatba foglalva a 11. táblázatban láthatjuk.

Mérés sorszáma	Fajlagos forgácstérfogat [cm ³ /min]	Felületi érdességek átlaga [μm]
1	5,1	1,19
2	11,0	2,00
3	7,9	1,30
4	30,0	2,93
5	21,4	2,70

11. táblázat. Fajlagos forgácsolási térfogat és a felületi érdességek átlaga összerendelve

Korreláció számítás során azt vizsgáltuk, hogy milyen a két érték viszonya, mekkora az egymástól való függésük. Ezt Excel 2007-ben végeztük, mint minden más táblázat és diagram elkészítését. Az értéket négy tizedes jegyre kerekítettük. A kapott érték: 0,9570.



51. ábra. Fajlagos forgácstérfogat és a felületi érdesség kapcsolata

Az 51. ábrában láthatjuk, hogy kapcsolat fedezhető fel a leválasztott forgácsmennyiség és a felületi érdesség romlása között. Persze az egyes mérések során nem mentünk el a teljes romlásáig a lapkáknak, így azt is mondhatnánk, hogy ez nem jó képet ad a szerszámokról, de látható egy folyamat, hogy minél nagyobb a fajlagos forgácstérfogat, annál rosszabb felületi minőséget érhetünk el.

Néhány költséget a cégtől kaptunk, néhány költséget (pl. EUR árfolyama) az internetről vettünk. A körülményekhez képest a lehető legpontosabban számoltunk.

Egyetemes eszterga átlagos óradíja a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt.-ben $P_{mg} = 3500$ [Ft/h]. Ebben benne van az amortizációs költség, energia költség, munkabér, épület költségek, lapka költsége.

Mitsubishi WNMG080408 - MA US735 lapka ára: $P_{LEUR} = 5,00$ [EUR/db + ÁFA], de az ÁFA visszaigényelhető, azzal nem kell számolnunk. Az Euró árfolyama ma (2012.11.02.) $P_{Ft/EUR} = 287,92$ [Ft/EUR] a KDB Banknál. Így a lapka ára forintban a 10. képlet szerint számítható:

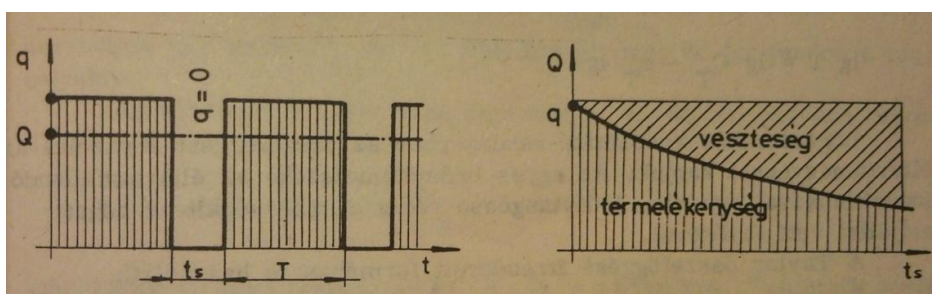
$$P_{LFt} = P_{LEUR} * P_{Ft/EUR} \quad (10)$$

$$P_{LFt} = 5,00 \left[\frac{EUR}{db} \right] * 287,92 \left[\frac{Ft}{EUR} \right] \cong 1440 \left[\frac{Ft}{db} \right]$$

Egy élének az ára forintban a 11. képlet szerint számoljuk ki:

$$P_{1LFt} = \frac{1440 \left[\frac{Ft}{db} \right]}{6 [db]} = 240 [Ft] \quad (11)$$

Számoljunk 1 él használatát a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt.-nél az ott lévő dolgozók és az üzemi mérnökök szerint egyetemes esztergán 6 perccel. Erre még rájön elhasználódás esetén a lapka megfordítása, cseréje ($t_s = 2$ [min]), a munkadarabok cseréje elkészült állapotban (2 [min]). Az éltartamidő elteltével a folyamatot t_s időre meg kell szakítani, és az elhasznált szerszámot újra kell cserélni. Ez idő alatt anyagleválasztás nincs, tehát a szerszámcsere ideje veszteségidő. Így az 52. ábrán levő anyagleválasztási görbe szakaszos lesz. Ez összesen 10 perc. Trigon lapka esetén egy lapkának 6 használható éle van. Tehát egy lapka optimális körülmények között 60 percig bírja.



52. ábra. Termelékenység csökkenése [23]

A 52. ábra a termelékenység csökkenését és a veszteségek növekedését szemlélteti a csereidő függvényében. Az éltartamidő és a csereidő arányának változtatásával a termelékenység és a veszteség is szabályozható, mint azt az egyik kifejezés mutatja.

Így kiszámolva az egyetemes eszterga átlagos óradíja a bicskei Magyarmet Finomöntőde Bt.-ben a lapka költsége nélkül a 12. képlet szerint a következő.

$$P = P_{mg} - P_{Lft} \quad (12)$$

$$P = 3500 [Ft] - 1440 [Ft] = 2060 [Ft]$$

Most nézzük meg, hogy az egyes esetekben mennyi pénzt takaríthatunk meg a munkagép óradijából. Minden mérésnél $Q_{\Sigma fogás} = Q_{1.fogás} + Q_{2.fogás} + Q_{3.fogás} + Q_{4.fogás} + Q_{5.fogás} = 5,046 + 4,886 + 4,725 + 4,564 + 4,403 = 23,624 [cm^3]$ -ként kell cserélni munkadarabot. Az egyes lapkák élettartama alatt cserélt munkadarab számát a 13. képlet mutatja be:

$$\frac{Q_i}{Q_{\Sigma fogás}} \quad (13)$$

ahol Q_i az egyes technológiák alatt maximálisan leválasztott forgácmennyiség

$Q_{\Sigma fogás}$ a munkadarabról leválasztható forgácmennyiség

Eredeti beállítás során kapott eredmények kiértékelése

Az óradíjat tudjuk, 3500 [Ft/h]. A leválasztott forgácmennyiséget jelenleg nem tudjuk, mert az Bicskén gépenként, és beállítási paraméterektől függött. A beállítás tapasztalati úton történt.

1. mérés során kapott eredmények kiértékelése

Elegendő, ha 27 percenként cseréljük a lapkát. Itt is cserénként rájön még 2 perc, és munkadarab cseréből rájön még 2 perc 23,624 [cm³]-ként.

Tehát egy lapkánk ideje 27+2=29 perc.

27 perc alatt leválasztott 141 [cm³] forgácsot, ez alatt a 13. képlet szerint

$$\frac{141 [cm^3]}{23,624 [cm^3]} \cong 6,0$$

-szor kellett cserélni a darabot egy éltartam alatt. Tehát 6,0*2=12 [min] ment el még munkadarab csereidőre egy éltartam alatt.

$$29 [min] + 12 [min] + x_1 = 60 [min]$$

$$x_1 = 19 [min]$$

Egyenes arányosságot állítunk fel. Tehát $29+12=41$ percből 12 perc a munkadarab csereidő, akkor 19 percből 5,56 perc a munkadarab csereidő. Így $19-5,56=13,44$ [min] a tényleges forgácsolási idő (lapkacsere idő ráeső részével együtt).

$$29 [\text{min}] \rightarrow 141 [\text{cm}^3]$$

$$13,44 [\text{min}] \rightarrow y_1$$

$$y_1 = 65,35 [\text{cm}^3]$$

Tehát az összes leválasztott forgácsmennyiség egy óra alatt ezzel a lapkával:

$$1 * 141 [\text{cm}^3] + 65,35 [\text{cm}^3] = 206,35 [\text{cm}^3]$$

Tehát egy óra alatt elhasználódik:

$$1 * 1 [\text{él}] + \frac{13,44}{29} * 1 [\text{él}]$$

A költség kiszámítása:

$$1 [\text{él}] * 240 [\text{Ft}] + \frac{13,44}{29} [\text{él}] * 240 [\text{Ft}] \cong 351 [\text{Ft}]$$

Tehát az összes költség:

$$2040 [\text{Ft}] + 351 [\text{Ft}] = 2391 [\text{Ft}]$$

2. mérés során kapott eredmények kiértékelése

Elegendő, ha 6,8 percenként cseréljük a lapkát. Itt is cserénként rájön még 2 perc, és munkadarab cseréből rájön még 2 perc $23,624 [\text{cm}^3]$ -ként.

Tehát egy lapkánk ideje $6,8+2=8,8$ perc.

6,8 perc alatt leválasztott $75 [\text{cm}^3]$ forgácsot, ez alatt ez alatt a 13. képlet szerint

$$\frac{75 [\text{cm}^3]}{23,624 [\text{cm}^3]} \cong 3,17$$

-szor kellett cserélni a darabot egy éltartam alatt. Tehát $3,17*2=6,34$ [min] ment el még munkadarab csereidőre egy éltartam alatt.

$$3 * (8,8 [\text{min}] + 6,34 [\text{min}]) + x_2 = 60 [\text{min}]$$

$$x_2 = 14,58 [\text{min}]$$

Egyenes arányosságot állítunk fel. Tehát $8,8+6,34=15,14$ percből 6,34 perc a munkadarab csereidő, akkor 14,58 percből 6,11 perc a munkadarab csereidő. Így $14,58-6,11=8,47$ [min] a tényleges forgácsolási idő (lapkacsere idő ráeső részével együtt).

$$8,8 [\text{min}] \rightarrow 75 [\text{cm}^3]$$

$$8,47 [\text{min}] \rightarrow y_2$$

$$y_2 = 72,19 [\text{cm}^3]$$

Tehát az összes leválasztott forgácsmennyiség egy óra alatt ezzel a lapkával:

$$3 * 75 [cm^3] + 72,19 [cm^3] = 297,19 [cm^3]$$

Tehát egy óra alatt elhasználódik:

$$3 * 1 [él] + \frac{8,47}{8,8} * 1[él]$$

Ez költségben:

$$3 [él] * 240 [Ft] + \frac{8,47}{8,8} [él] * 240 [Ft] \cong 951 [Ft]$$

Tehát az összes költség:

$$2040 [Ft] + 951 [Ft] = 2991 [Ft]$$

3. mérés során kapott eredmények kiértékelése

Elegendő, ha 19,2 percenként cseréljük a lapkát. Itt is cserénként rájön még 2 perc, és munkadarab cseréből rájön még 2 perc 23,624 [cm³]-ként.

Tehát egy lapkánk ideje 19,2+2=21,2 perc.

19,2 perc alatt leválasztott 152 [cm³] forgácsot, ez alatt ez alatt a 13. képlet szerint

$$\frac{152 [cm^3]}{23,624 [cm^3]} \cong 6,43$$

-szor kellett cserélni a darabot egy éltartam alatt. Tehát 6,43*2=12,9 [min] ment el még munkadarab csereidőre egy éltartam alatt.

$$21,2 [min] + 12,9 [min] + x_3 = 60 [min]$$

$$x_3 = 25,9 [min]$$

Egyenes arányosságot állítunk fel. Tehát 21,2+12,9=34,1 percből 12,9 perc a munkadarab csereidő, akkor 25,9 percből 9,80 perc a munkadarab csereidő. Így 25,9-9,80=16,10 [min] a tényleges forgácsolási idő (lapkacsere idő ráeső részével együtt).

$$21,2 [min] \rightarrow 152 [cm^3]$$

$$16,10[min] \rightarrow y_3$$

$$y_3 = 115,43 [cm^3]$$

Tehát az összes leválasztott forgácsmennyiség egy óra alatt ezzel a lapkával:

$$1 * 152 [cm^3] + 115,43 [cm^3] = 267,43 [cm^3]$$

Tehát egy óra alatt elhasználódik:

$$1 * 1 [él] + \frac{16,10}{21,2} * 1[él]$$

Ez költségben:

$$1 [\text{él}] * 240 [\text{Ft}] + \frac{16,10}{21,2} [\text{él}] * 240 [\text{Ft}] \cong 422 [\text{Ft}]$$

Tehát az összes költség:

$$2040 [\text{Ft}] + 422 [\text{Ft}] = 2462 [\text{Ft}]$$

4. mérés során kapott eredmények kiértékelése

Elegendő, ha 46 másodpercenként (0,77 percenként) cseréljük a lapkát. Itt is cserénként rájön még 2 perc, és munkadarab cseréből rájön még 2 perc 23,624 [cm³]-ként.

Tehát egy lapkánk ideje 0,77+2=2,77 perc.

0,77 perc alatt leválasztott 23 [cm³] forgácsot, ez alatt ez alatt a 13. képlet szerint

$$\frac{23 [\text{cm}^3]}{23,624 [\text{cm}^3]} \cong 0,97$$

-szor kellett cserélni a darabot egy éltartam alatt. Tehát 0,97*2=1,94 [min] ment el még munkadarab csereidőre egy éltartam alatt.

$$12 * (2,77 [\text{min}] + 1,94 [\text{min}]) + x_4 = 60 [\text{min}]$$

$$x_4 = 3,48 [\text{min}]$$

Egyenes arányosságot állítunk fel. Tehát 2,77+1,94=4,71 percből 1,94 perc a munkadarab csereidő, akkor 3,48 percből 1,43 perc a munkadarab csereidő. Így 3,48-1,43=2,05 [min] a tényleges forgácsolási idő (lapkacsere idő ráeső részével együtt).

$$2,77 [\text{min}] \rightarrow 23 [\text{cm}^3]$$

$$2,05 [\text{min}] \rightarrow y_4$$

$$y_4 = 17,02 [\text{cm}^3]$$

Tehát az összes leválasztott forgácsmennyiség egy óra alatt ezzel a lapkával:

$$12 * 23 [\text{cm}^3] + 17,02 [\text{cm}^3] = 293,02 [\text{cm}^3]$$

Tehát egy óra alatt elhasználódik:

$$1 * 1 [\text{él}] + \frac{2,05}{2,77} * 1 [\text{él}]$$

Ez költségben:

$$12 [\text{él}] * 240 [\text{Ft}] + \frac{2,05}{2,77} [\text{él}] * 240 [\text{Ft}] \cong 3057 [\text{Ft}]$$

Tehát az összes költség:

$$2040 [\text{Ft}] + 3057 [\text{Ft}] = 5097 [\text{Ft}]$$

5. mérés során kapott eredmények kiértékelése

Elegendő, ha 2,2 percenként cseréljük a lapkát. Itt is cserénként rájön még 2 perc, és munkadarab cseréből rájön még 2 perc 23,624 [cm³]-ként.

Tehát egy lapkánk ideje 2,2+2=4,2 perc.

2,2 perc alatt leválasztott 47 [cm³] forgácsot, ez alatt ez alatt a 13. képlet szerint

$$\frac{47 [cm^3]}{23,624 [cm^3]} \cong 2,0$$

-szor kellett cserélni a darabot egy éltartam alatt. Tehát 2,0*2=4 [min] ment el még munkadarab csereidőre egy éltartam alatt.

$$7 * (4,2 [min] + 4 [min]) + x_5 = 60 [min]$$

$$x_5 = 2,6 [min]$$

Egyenes arányosságot állítunk fel. Tehát 4,2+4=8,2 percből 4 perc a munkadarab csereidő, akkor 2,6 percből 1,27 perc a munkadarab csereidő. Így 2,6-1,27=1,33 [min] a tényleges forgácsolási idő (lapkacsere idő ráeső részével együtt).

$$4,2 [min] \rightarrow 47 [cm^3]$$

$$1,33 [min] \rightarrow y_5$$

$$y_5 = 14,88 [cm^3]$$

Tehát az összes leválasztott forgácsmennyiség egy óra alatt ezzel a lapkával:

$$7 * 47 [cm^3] + 14,88 [cm^3] = 343,88 [cm^3]$$

Tehát egy óra alatt elhasználódik:

$$7 * 1 [él] + \frac{1,33}{4,2} * 1 [él]$$

Ez költségben:

$$7 [él] * 240 [Ft] + \frac{1,33}{4,2} [él] * 240 [Ft] \cong 1756 [Ft]$$

Tehát az összes költség:

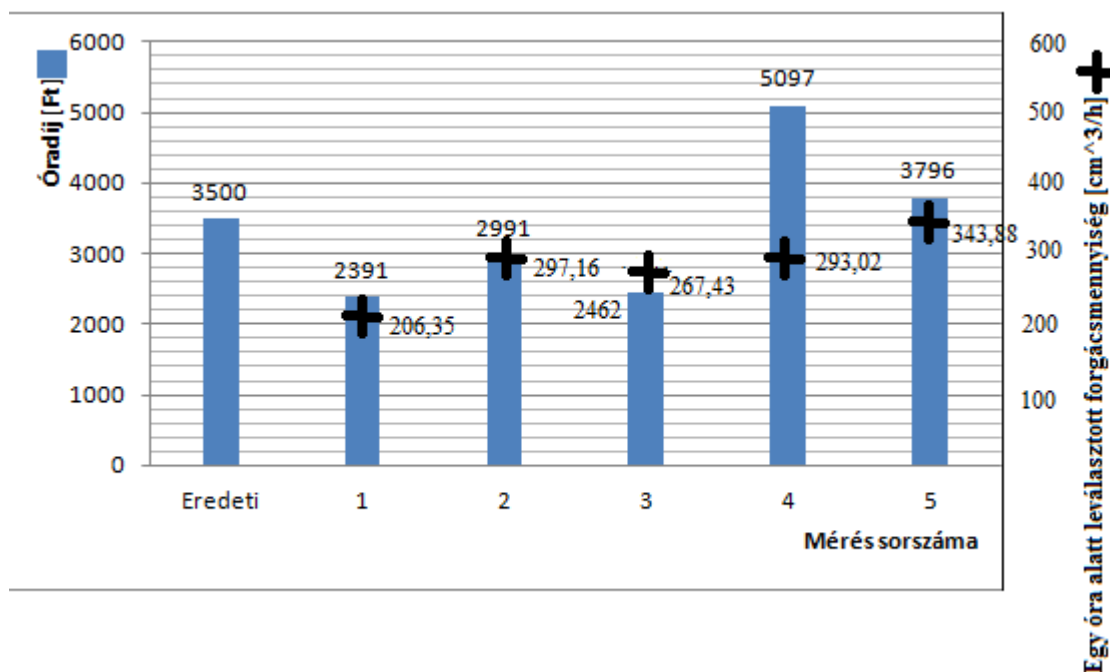
$$2040 [Ft] + 1756 [Ft] = 3796 [Ft]$$

A 12. táblázatban összegeztük a kapott eredményeket, és az alap óradíjhoz képest képeztük a relatív értékeket. Ezt az 53. ábra szemlélteti.

Mérés sorszáma	Óradíj	Egy óra alatt leválasztott forgácmennyiség	Relatív óradíj
	[Ft]	[cm ³ /h]	[-]
Eredeti	3500	-	1
1	2391	206,35	0,68314
2	2991	297,16	0,85457
3	2462	267,43	0,70342
4	5097	293,02	1,45629
5	3796	343,88	1,08457

12. táblázat. Az óradíj és a leválasztott forgácmennyiség

Itt is végeztünk korrelációs számítást. Az óradíj és az egy óra alatt leválasztott forgácmennyiség között a korreláció: 0,5593. Ez látható, hogy majdnem fele akkora, mint a fajlagos forgáctérfogó és a felületi érdességek átlaga közötti.



53. diagram. Óradíj [Ft] és az egy óra alatt leválasztott forgácmennyiség [cm³/h] ábrázolása egy közös diagramban

7. Összefoglalás és következtetések

Szakítószilárdsági vizsgálat során igazoltuk, hogy az előírásoknak megfelelnek az anyagminőségi tulajdonságok.

Brinell keménység mérés során alátámasztottuk, hogy nem keményebb a külső kéreg, mint az alatta található részek.

Általánosságban mondhatjuk, hogy a modern duplex acélokat nehezebb megmunkálni, mint más acélokat a magasabb ausztenit tartalom és nitrogén koncentráció miatt.

A simító esztergálási művelet elvégzése és kiértékelése után ebben a fejezetben fogjuk összefoglalni a mérések során tapasztalt észrevételeinket, összehasonlítani az egyes technológiákat. A mérési eredményeket a költségoptimalizálást figyelembe véve a megtervezett mérésprogram sorrendjét tartva elemeztük ki, majd egy végső következtetést vonva megállapítottuk a legfontosabb tapasztalatokat.

Az első mérésnél a felületi érdesség nem romlott még $141 \text{ [cm}^3\text{]}$ anyag leválasztása után sem számottevően. Ugyan itt egy él rengeteg forgácsot tudna eltávolítani, de nem gazdaságos, mert lassú a termelés. A mai gyors világ igényeinek nem felel meg ez a fajta termelés, kiszorulna a piacról.

A második mérésnél a felületi érdességek átlagos értéke 2 körül van, szórásuk nagy, de nagy a fajlagos forgácstérfogat és a termelékenység. Ha a piac nem kíván 3,2 átlagos felületi érdesség alatti termelést, ez egy megfelelő technológiai beállítás. Akár utómunkálással javítható a munkadarab igény szerint. A gond csak az élszak miatt levő szigetek megjelenése, emiatt nem egyenletes a felületi érdesség, de nincs alakhiba.

A harmadik mérésnél beállított paraméterek az optimálisak a cégnél CNC esztergán. Mi az egyetemes esztergán is megfelelő eredményeket kaptunk, így úgy gondoljuk, hogy a technológiát mindenképpen módosíthatnák, nagyobb sebességgel is dolgozhatnának, akár nagyobb előtolással. Ugyan jelentős a sorjaképződés a képlékeny alakulás miatt, de a felületi érdesség nem romlik. Hátránya ennek a technológiának, hogy negyed órás munka után méretszóródás, méretpontatlanság jelent meg. Felületi érdességben szigetek jelentek meg. Magasabb óradíj az előzőhöz képest, de viszont az óránként leválasztott forgácsmennyiség is nőtt.

A negyedik mérés alkalmából a gyors megmunkálás felé mentünk el viszonylag rossz felületi érdesség mellett, de még így is $3,2 R_a$ alatt maradtunk. Kúpos lett a felület,

méretpontatlanság lépett fel. Magas óradíj, magas forgácstérfogat, rossz felületi érdesség. Ez a technológia ott felel meg, ahol a felületi érdesség nem olyan fontos paraméter.

Az ötödik mérés alkalmából az előre számított felületi érdességet megkaptuk. Ez a technológia is ott ajánlott, ahol a felületi érdesség maximuma $3,2 R_a$ alatt van. Nagy fajlagos forgácstérfogat, „normál” költség.

Az optimális fogácsolási technológia simító esztergálás esetén a költségoptimalizálás szerint azt figyelembe véve, hogy a felületi érdesség ne romoljon drasztikusan az a hármas mérés során volt. Az eredményekből láthatjuk, hogy CNC esztergán lehetne még sebességben ettől feljebb is menni, körülbelül 100 [m/min] értékig. Jó felületi minőség mellett alacsony óradíj, és az egy óra alatt leválasztott forgácsmennyiség a lapka és a munkadarab cserét is figyelembe véve optimális. Ugyan a fajlagos forgácstérfogat alacsony, de mivel ritkán kell cserélni a lapkát, így nyugodtan kijelenthetjük, hogy megéri a használata ennek a technológiának.

8. Továbbfejlesztési lehetőségek

A kapott eredményeket látva és az irodalomkutatás során talált adatok elemzése után úgy gondoltuk, hogy a vizsgálatunkat kiterjeszthetnénk más területekre is. Az esztergálásra összpontosítani, persze később lehetne vizsgálni más megmunkálását ennek a gyorsan terjedő, ellenálló, népszerű acélminőségnek.

Szeretnénk a későbbiekben az egyetemes esztergán végzett simító megmunkálásra kapott eredményeket összehasonlítani egy jobb, nagyobb nyomású hűtő-kenő folyadék ellátást biztosító CNC esztergán kapott eredményekkel. Kíváncsiak vagyunk, hogy mennyire függ a felületi érdesség, a szerszámkopás az intenzív hűtő-kenő folyadéktól. Emellett a nagyoló esztergálásra is rátérnénk. Ezt az összehasonlítást és a nagyolást szakdolgozatban foglalnánk össze. Mivel a szakdolgozat nem csoportosan megy, ezért a későbbi vizsgálatokat csak egy ember végezné el. Az utóbbi megmunkálógépen szélesebb körben tudnánk vizsgálni, a beállítási paramétereket nagyobb tartományban tudnánk változtatni. Egy CNC esztergát ipari körülmények között viszont kivonni a termelésből igen nehéz lenne, ezért a tanszéken álló gépet fogjuk használni, amire szintén lehetőséget biztosít a Gyártástudomány és -technológia tanszék.

A vizsgálatokat kiterjeszthetnénk arra is, hogy különböző szerszámgyártó cégek különböző minőségű névleges paraméterekkel rendelkező, összetételben eltérő lapkáit összehasonlítsuk, de úgy gondoljuk, hogy ez nem a mi feladatunk, hanem a lapkákat gyártó, forgalmazó cégek érdeke. Itt persze nagy részben a marketingnek és a reklámnak is szerepe van, de ez egy nagyon költséges vállalkozás lenne.

Marásnál és fúrásnál is vizsgálhatnánk a paraméterek változtatását, az hogy hat a lapkák, fúrók élettartamára, de a vizsgálódás sok időt igénybe venne. Jelen dolgozatban nem is az volt a cél, hogy egy mindenre kiható komplex eredményt kapjunk, hanem a forgácsolás valamennyi ágára vetíthető esztergálást vizsgáltuk.

Továbbfejlesztési lehetőség lehetne az is, hogy különböző anyagminőségű duplex acélokon végzett forgácsolási kísérletek alatt az acélminőség változtatása hogy hat az élettartamra, de egy ilyen vizsgálat is magas költségekkel járna.

9. Köszönetnyilvánítás

Az egyetemes esztergát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gyártástudomány és -technológia Tanszék biztosította számunkra, ott Szűcs László úr nyújtott segítséget nekünk. A konzulensi feladatok ellátásáért köszönetet mondunk Gyurika István Gábor tanszéki mérnöknek. A munkadarabokat a bicskei Magyarmet Finomöntöde Bt. gyártotta le nekünk 1.4469 duplex acélból, a Seco szerszámot, és a Mitsubishi lapkákat is ők biztosították számunkra. Ennél a betéti társaságnál segítettek nekünk a szakító szilárdsági, és a törési tesztek elvégzésén. Itt külön köszönetet mondanánk Győri Imre vezérigazgató úrnak, aki támogatta munkánkat, Pálincás Mátyásnak, aki minden tárgyi feltételt biztosított nekünk, és folyamatosan mellettünk állt, Fortágh Tamásnak, aki a szakítóvizsgálatokban segített, és nem utolsósorban Pataki Jánosnak, aki már foglalkozott előttünk is a duplex acélokkal, és rengeteg mindenben segített, helyes mederbe terelt minket. A vizsgálatok jelenleg is folynak, és az említett személyek jelenleg is segítenek.

10. Summary

Technology optimization of a duplex stainless steel workpiece on lathe

The theme of TDK assignment is a machining technology optimization of an EN 1.4469 duplex stainless steel workpiece, i.e. the machinability like a testing of complex features related to quality of material. The essence of the thesis is the measurement. We machined a workpiece which was produced by a foundry and we wanted to get a good surface, a lot of shavings and conclusions. The service life was maximized a given time because of the economic reasons. The results of TDK assignment is the classification of cutting in a given environment supported by instrumental measurements.

First we selected the process step which is the most appropriate in terms according to various literatures. We had to decide what kind of chuck, chips and quality of the coolant we should use. After that we had to decide the machining plan. The sample of the first measurement was the same like in the foundry program of turning in an NCT-GD-5DT CNC lathe a few months before which had same material. Then we fixed the piece into the workpiece clamping device and then the work is started. During the optimization we changed the cutting depth (mm), the feed (mm/rev.) and the cutting speed (mm/min).

The assessing of machinability was qualitative and the rating was quantitatively. We tested the main and supplementary characterization. We worked on a lathe, the insert tool life was measured by stopwatch and we used microscope. Each changing of cutting parameters we measured the surface roughness with a roughness measuring equipment. The determined quantify of machinability was made by two ways: absolute measuring numbers and relative values of the training.

The generated test results are compared in various literature and results of tool catalogs. The results are evaluated, they are plotted in diagrams, and these conclusions were drawn. The TDK assignment not only describe the assessment process but also describe the production process of duplex stainless steels and shows the fact the benefits of the using of these steels, because they have good corrosion resistance and strength.

11. Irodalomjegyzék

- [1] Italinox Hungária Kft. honlapja: <http://www.rozsdamentes.wlap.hu/>
- [2] Outokumpu cég honlapja: <http://outokumpu.com/>
- [3] Per-kor Kereskedőház Kft. honlapja: <http://www.perkor.hu/>
- [4] Direct-Line Kft. honlapja: <http://dldh.hu/>
- [5] Felületi technológiák – Duplex felületkezelések, Győr, Széchenyi István Egyetem, 2008. 11. 18.
- [6] PFERD cég honlapja: <http://www.mayer-szerszam.hu/>
- [7] Balázs János, Nagy Hinst Adrián, Dobránszky János – Duplex acélok hegesztett kötéseinek szövetszerkezeti vizsgálata – 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19-21.
- [8] Dobránszky János - Új szerkezeti acélok hegeszthetősége és a kapcsolódó hegesztéstechnológiai újdonságok - Szakmai nap, 2010. április 29.
- [9] Komócsin Mihály – A duplex szerkezetű korrózióálló acélok és hegesztésük, Miskolci Egyetem
- [10] Bánkuti József - Korrózióálló acélok forgácsolása, PERFOR Szerszámkereskedelmi Kft. – <http://www.perfor.hu/>
- [11] <http://www.metallograph.de/>
- [12] Fejér Megyei Hírlap - 2012. július 27. péntek
- [13] Seco Tools cég honlapja: <http://www.secotools.com/>
- [14] SANDVIK Coromant cég honlapja: <http://www.sandvik.coromant.com/>
- [15] IMO A cég honlapja: <http://www.imoa.info/>
- [16] Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels - IMO A
- [17] Dr. Sipos Sándor, Dr. Palásti Kovács Béla - Új lehetőségek a korrózióálló acélok esztergálásában
- [18] N.N.: Stainless steel turning, Application Guide, Sandvik Coromant, 1997/2. pp. 88.
- [19] Angyal, B. - és mások: A forgácsolás elmélete és szerszámai Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988
- [20] Katbi, K.: The Case For Optimized Inserts <http://www.mmsonline.com/>
- [21] szabvány - ASTM International A995/A995M-09
- [22] szabvány - SA-351/SA-351M

- [23] Bali János – Forgácsolás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1980
- [24] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – Anyagtudomány és Technológia tanszék honlapja: <http://www.att.bme.hu/>
- [25] Dr. Sipos Sándor f. docens - Forgácsolhatóság - BMF - BDGFK
- [26] Robert N. Gunn: Duplex Stainless Steels. TWI Ltd., United Kingdom (1997)
- [27] VDI Berichte 988 - Neuentwicklungen in der Zerspantechnik – Schneidwerkstoffe werkzeuge technologien – Neue Entwicklungen in der Spanüberwachung – Tagung Düsseldorf 22. bis 24. September 1993, 445-451.oldal
- [28] Proceedings of the 13th International Conference on Tools (ICT 2012). University of Miskolc, Department of Production Engineering, Bíbor Kiadó, Miskolc (2012. március 27-28.) – Machinability of sintered metals - Czampa, Markos, Farkas, Szalay
- [29] Mitsubishi szerszámgyártó cég honlapja: <http://www.mitsubishicarbide.net/>
- [30] Böhler kereskedelmi Kft. honlapja: <http://www.boehler.hu/>
- [31] Cseh Béla főiskolai adjunktus – Anyag- és gyártásismeret II. – Forgácselmélet jegyzet
- [32] MSZ EN 10213:2008 szabvány