

**Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és
Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet**



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**NEHEZEN FORGÁCSOLHATÓ
ANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSI
TAPASZTALATAI ÉS EREDMÉNYEI**

Szerző: **Baranyai Géza**
gépészmérnöki szak, IV. évfolyam

Konzulensek: **Dr. Sipos Sándor**
mestertanár
Csuka Sándor
intézeti mérnök
Tállai Péter
intézeti mérnök

Budapest, 2012

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. Modern furatmegmunkálás, nehezen fúrható anyagok.....	4
1.1. A furatmegmunkálás fontossága, problematikája	4
1.2. Korszerű csigafúrók, bevonataik	6
1.2.1. Csigafúró geometriájának fejlődés	6
1.2.2. Korszerű szerszámanyagok, bevonatok	7
1.3. Menetformázás technológiája.....	9
1.3.1. Mi is az a menetformázás?.....	9
1.3.2. Menetformázás előnyei.....	11
1.3.3. Menetformázás hátrányai.....	13
1.4. Forgácsolhatóság, nehezen forgácsolható anyagok.....	14
1.4.1. A forgácsolhatóság definíciója, befolyásoló tényezők	14
1.4.2. Ausztenites korrózióálló acél forgácsolhatósága	15
1.4.3. Műanyagalakító szerszámacélon végzett formázása	15
2. Korszerű fúrószerszámok összehasonlító vizsgálata.....	16
2.1. A vizsgált szerszámok	16
2.2. A megmunkált darab méretei, anyaga	17
2.3. Megmunkálási körülmények, mérőeszközök	17
2.4. Forgácsolási paraméterek, a kísérlet menete	18
2.5. Az eredmények kiértékelése, elemzése	19
2.5.1. A fajlagos forgácsoló erő meghatározása	19
2.5.2. A keletkezett forgácsalakok minősítése.....	20
2.5.3. A készített furatok alak- és méretpontossága	21
2.5.4. A készített furatok felületi érdessége	22
2.6. Megállapítások, összegzés	24
3. Korszerű bevonatú menetformázók vizsgálati eredményei	25
3.1. A vizsgált szerszámok	25
3.2. A megmunkált darabok	25
3.3. Vizsgálati körülmények.....	26
3.4. A vizsgálat célja és menete.....	27
3.5. Eredmények kiértékelése és elemzése.....	27
3.5.1. A formázók kopása és éltartama	27
3.5.2. A kopás hatása a nyomatékgigényre.....	29
3.5.3. A magfurat minőségének hatása a formázott menet minőségére	30
3.6. Megállapítások, összegzés.....	32
Köszönetnyilvánítás	34
Hivatkozások, mellékletek.....	35

Bevezetés

Egyetemünk Gépgyártástechnológiai Szakcsoportja nagy múltú forgácsoláskutatási és szerszámminősítési tevékenységgel rendelkezik. A Szakcsoport minden évben végez különböző forgácsolási vizsgálatokat. Ez a TDK dolgozat a 2012 nyarán végzett furatmegmunkálási vizsgálatok eredményeit dolgozza fel és ismerteti.

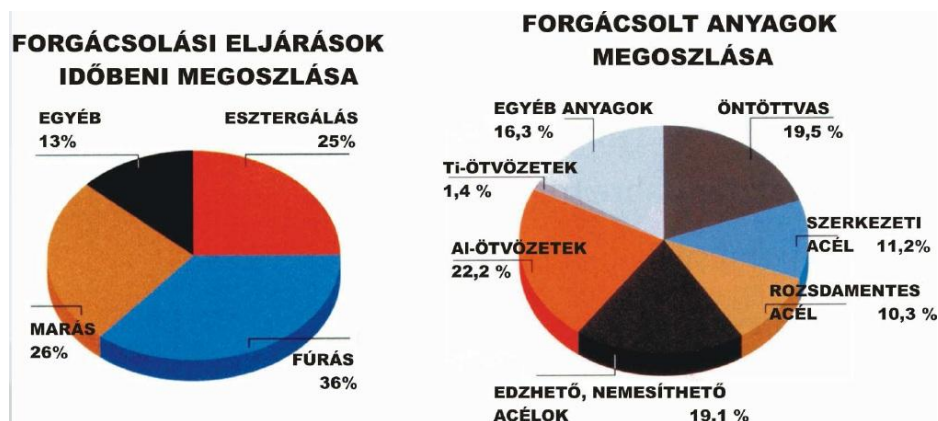
A kísérleteket az ipar igényei szerint terveztük meg, azaz olyan területeket kutattunk, melyek nem régen vannak a piacon, így nem rendelkezünk kellő ismerettel a technológiák és szerszámaik terén. Az ismert technológiák forradalmi fejlődését is vizsgáltuk, hogy tapasztalatainkkal segítsük a felhasználók munkáját. E fejlesztéseket a szerszámgyártók versenye hívta életre, hogy minél jobb szerszámokat hozzanak létre, a felhasználói piacból minél nagyobb rész kiszakítása érdekében. A verseny néhány élvonalbeli szereplőjének furatmegmunkáló szerszámaikat vizsgálta a Szakcsoport.

A széles területen belül a legnagyobb problémát a nehezen forgácsolható anyagok megmunkálása okozza, amelyről eddig igazán kevés kísérleti adat állt rendelkezésünkre.

1. Modern furatmegmunkálás, nehezen fúrható anyagok

1.1. A furatmegmunkálás fontossága és nehézségei

Az általános gépészeti feladatok között gyakran szerepel belső hengeres, vagy kúpos felületek kialakítása. Ezek megvalósításának technológiája általában a fúrás, de kiegészíthetik egyéb megmunkálások, mint dörzsárazás, kiesztergálás, menetformázás, menetmarás stb. Ezért a furatmegmunkálással gyakran találkozunk, és sok időt is igényel. Ezt az 1.1. ábra szemlélteti [1].



1.1. ábra [1]

Látható, hogy a forgácsolási eljárások közül a fúrás részesedése a legnagyobb.

A belső hengeres felületek kialakítását, - ha nincs az előgyártmányon furat -, akkor telibefúrással kezdjük, majd ezután alakítjuk tovább a furatot az igényeink szerint.

Ezért a furatmegmunkálási eljárások a következőképpen csoportosíthatók:

Telibefúrás:

- Fúrás csigafúróval
- Központfúrás
- Fúrás hosszlyukmaróval

Furatbővítés:

- Felfúrás csigafúróval
- Süllyesztés
- Furatesztergálás
- Dörzsárazás [2]

A szerszámok fejlődésével bizonyos eljárások már kezdenek eltűnni. Ilyen például a központfúrás, mert bizonyos csigafúrók már nem igényelnek központfúrást, valamint pontosabban is dolgoznak. Elérhetik akár az IT9-es pontosságot is, ami ma már nem olyan ritka csigafúrótól (a régebben megszokott IT12-höz képest ez hatalmas javulás).

Ez az oka annak, hogy nagy figyelmet kaptak a csigafúrók, így rohamos ütemben folyik a fejlesztésük. A fejlesztések elsősorban az élgeometriát, a szerszámanyagot, a

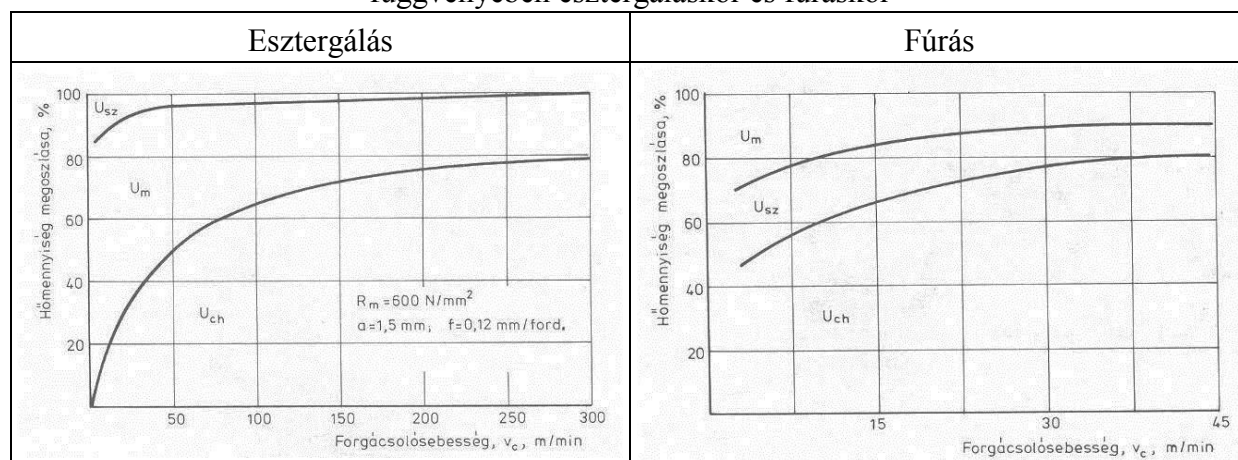
szerszámbevonatot, de még a technológiát is érintik. A fúrókat anyagcsoportokhoz optimalizálják, hogy a legjobbat tudják kínálni a felhasználó számára.

A furatmegmunkáláson belül helyezkedik el egy másik fontos technológia, a menetmegmunkálás. Az utóbbi években ez is nagy hangsúlyt kapott. Új eljárások jelentek meg, mint a menetmarás és a menetformázás. A menetmarás megjelenését a szerszámgépek vezérlésének fejlődése tette lehetővé, és e mellé terveztek új szerszámokat (a menetmarókat), melyek rendkívül termelékenyek. A menetformázás viszont lényegében egy geometriai fejlesztés volt, amely a menetfúrásra épült, azaz nem igényelt új mozgásciklusokat.

Furatmegmunkáláskor felmerülő problémák közül az egyik legjelentősebb a forgácskezelés. Belső hengeres felületekből a forgács elvezetése rendkívül bonyolult, ráadásul minden anyag más és más forgácsot produkál.

Másik jelentős probléma a hőfejlődés. A furat fala gyakorlatilag szigeteli a szerszámot és a forgácsoláskor keletkezett hő nem tud máshova távozni, mint a szerszámba. Nem úgy, mint esztergáláskor, maráskor, vagy más „nyitott forgácssterű” megmunkáláskor. Ezt az 1.2. ábra szemlélteti [3].

A hőmennyiség megoszlása a forgácsoló sebesség függvényében esztergáláskor és fúráskor



1.2. ábra [3]

Látható, hogy mindkét eljárásnál a forgács viszi el a legtöbb hőt, viszont fúrásnál a szerszám áll a második helyen, ezért fúráskor a szerszám hőterhelése nagyobb, mint más eljárásoknál.

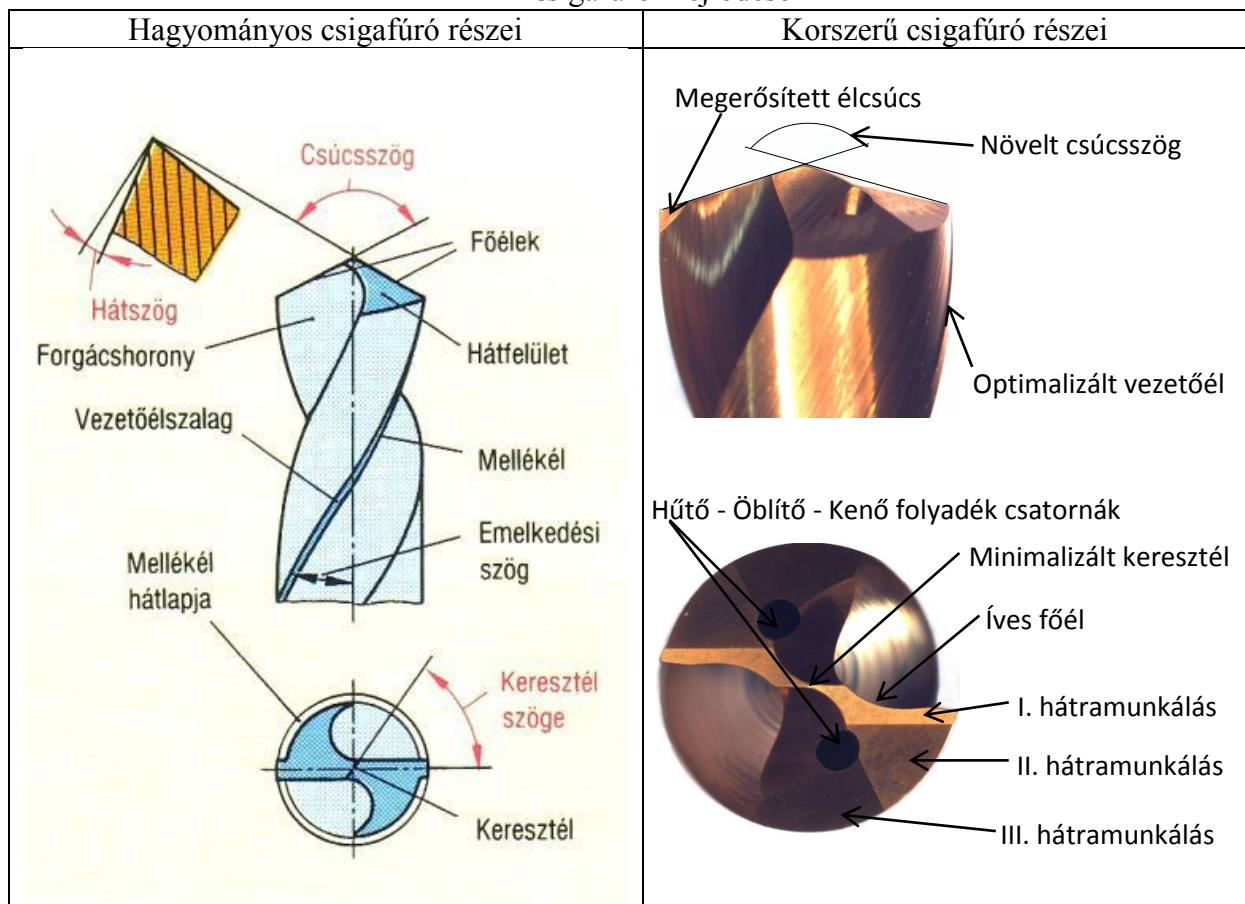
A következő pár oldalban ezen nehézségek kiküszöbölését szeretném bemutatni a csigafúrókra és menetformázókra koncentráltan.

1.2. Korszerű csigafúrók és bevonataik

1.2.1. Csigafúró geometriájának fejlődése

A fúrás egyike a legősibb forgácsoló eljárásoknak, így csaknem a tökéletességig fejlődött. A jól bevált szerszám alkalmazásában gyakorlatilag nem változtattak alapvetően az elmúlt 100 évben. A legkorszerűbb csigafúró is ugyanazokkal a főbb részekkel rendelkezik ma, mint a 60 évvel ezelőtti. Ez nem azt jelenti, hogy a fejlesztések megálltak, csak nem olyan „látványosak”. Közelebbről szemügyre véve viszont már a szerszámon gyökeres változások figyelhetők meg, melyet az 1.3. ábra szemléltet.

A csigafúrók fejlődése



1.3. ábra [4]

Látható, hogy az élgeometria megváltozott. A keresztél, amely az előtolás irányú erő nagy részét felveszi, szinte teljesen eltűnt. A főél nem egyenes. Bár ennek a megmunkálása bonyolultabb, de az él terhelése egyenletesebb. A főél hátlapja többszörösen hátramunkált, így a stabilitás megőrzése mellett jóval nagyobb előtolással dolgozhat. Hűtő-kenő-öblítő folyadék szállítása céljából spirális csatornák futnak végig a szerszámban, hogy az él terhelését folyamatos hűtéssel és kenéssel is csökkentsék, valamint, hogy a nagy nyomású

folyadék segítse a forgács eltávolítását a horonyból. A szerszám csúcshöge a hagyományos 118°-kal szemben megnőtt, a minimális keresztél szilárdsága folytán el tudja viselni a megnövekedett terhelést. Ezek a fejlesztések minden gyártó szerszámán megfigyelhetők, csak a megvalósítás formája változik. Természetesen a megmunkálendő anyagokra optimalizálva a szerszám kialakítása változhat, például korrózióálló anyag forgácsolására optimalizált fúró esetén nagyobb vezetőélt alkalmaznak.

1.2.2. Korszerű szerszámanyagok, bevonatok

A szerszámgyártásban a fejlődés nem csak a geometriákat érintette. A szerszámanyagok és bevonatok fejlesztése a másik oka annak, hogy nagyobb forgácsolósebességen, nagyobb előtolással, nagyobb éltartammal dolgozzanak a szerszámok. Egy korszerű telibefúró alapanyaga ma általában monolit keménységű, melynek hőállósága és keménysége nagyban meghaladja a hagyományos gyorsacél hasonló jellemzőit. Fizikai tulajdonságaiknak összehasonlítását az 1.1. táblázat tartalmazza [5].

A keménységű és a gyorsacél fizikai tulajdonságainak összehasonlítása

	Keménységű	Gyorsacél
Keménység (HV)	1500-2000	800-900
Nyomószilárdság (MPa)	4000-7000	3500-4000
Hajlítószilárdság (MPa)	2000-4000	3000-5000
Kitöredezésképesség (MNm^{-3/2})	5-15	5-25
Rugalmassági modulus (MPa)	550-650	220
Hővezetőképesség (W/mK)	50-100	20-25

1.1. táblázat [5]

A bevonatokkal szemben támasztott alapvető követelmények a keménység, a hőállóság és a kis súrlódás. Ezeket a követelményeket egyenként nem nehéz teljesíteni, viszont együtt már annál inkább. Ezért a feladathoz kell optimalizálni a bevonatot és meg kell találni a számunkra tökéletes egyensúlyt a tulajdonságok között úgy, hogy még éppen megfeleljen számunkra. Ezért mára már rengetegféle bevonatot fejlesztettek ki és a számuk egyre csak nő. A bevonat felvitelére a szerszámgyártásban két technológia terjedt el. Az egyik a fizikai gázfázis párologtatás, a PVD, a másik pedig a kémiai gázfázis párologtatás, a CVD. A nevükből látszik, hogy gyakorlatilag fémek elpárologtatásával, és kicsapásával viszik fel a bevonatot. A különbség a két technológia közt az, hogy a PVD ezt fizikai, a CVD pedig kémiai úton hajtja végre [6].

A PVD eljárás előnye a CVD-vel szemben, hogy alacsonyabb hőmérsékleten, 500 °C alatt működik, szemben a CVD kb. 1000 °C-os működési hőmérsékletével. Így a gyorsacél megeresztési hőmérséklete alatt lehet felvinni a réteget, elkerülhető az akaratlan hőkezelés, amely torzítja a szerszám fizikai tulajdonságait. Emellett a PVD eljárás környezetbarátabb,

gyorsabb és a réteg vastagsága is egyenletesebb. Ez az oka annak, hogy a forgácsoló szerszámok egyre nagyobb részét PVD eljárással bevonatolják. Néhány bevonat típust és tulajdonságait az 1.2. táblázat szemlélteti [7].

Különböző PVD bevonatok és azok tulajdonságai

	Szín	Nanokeménység [GPa]-ig	Bevonat- vastagság [μm]	Súrlódási tényező; μ	Max. alkalmazási hőmérséklet [°C]	Szimbólum, szín
TiN	arany	24	1 - 7	0.55	600	
TiAlN Monolayer	bordó fekete	35	1 - 4	0.5	800	
TiAlN Multilayer	bordó fekete	28	1 - 4	0.6	700	
TiCN-MP	rézvörös	32	1 - 4	0.2	400	
AlTiN	feketé	38	1 - 4	0.7	900	
STiN	arany	28	1 - 4	0.4	500	
Ti ₂ N	ezüst	25	1 - 3	0.45	600	
ZrN	fehér-arany	26	1 - 4	0.5	550	
TiCN	kék-szürke	37	1 - 4	0.2	400	
CrN	szürke-ezüst	18	1 - 7	0.3	700	
TiAlCN	világos-bordó	28	1 - 4	0.25	500	
CROMVIC® C ₁ N + CBC	szürke	20	1.5 - 7	0.15	400	
CBC (DLC)	szürke	20	0.5 - 4	0.15	400	
GRADVIC® TiAlCN + CBC	szürke	28	1.5 - 5	0.15	400	
μAlTiN®	feketé	38	1 - 4	0.3	900	
nACRo®	kék-szürke	42	1 - 7	0.35	1100	
nACo®	viola-kék	45	1 - 4	0.45	1200	

1.2. táblázat [7]

A táblázatban szereplő bevonatok felhasználási területeire a tulajdonságaikból lehet következtetni, viszont - a felhasználó munkáját könnyítve - a gyártó is tesz ajánlásokat. Persze ezekben a saját érdekei is tükröződnek, azaz új bevonatok kipróbálására ösztönöz, ezzel elősegítve azok bejutását a piacra. Az 1.3. táblázatban ilyen ajánlások szerepelnek.

Különböző felhasználási területekhez ajánlott PVD bevonatok

	Forgácsolás						Képlékeny alakítás		
	Fúrás	Esztérgálás	Marás	Menetvágás	Fúrészelés	Dörzsölés, üregelés	Fröccs- öntés	Sajtolás, kivágás	Fomázás, mélyhúzás
Acélok	nACo μAlTiN	nACo AlTiN	nACRo TiAlCN	GRADVIC nACo	TiAlCN STiN	nACo μAlTiN	STiN CrN	nACo nACRo	TiCN-MP nACRo
Edzett acélok	nACo	nACo	nACo	nACo	nACo	nACo		nACo	
Öntöttvas	nACo μAlTiN	nACo AlTiN	nACRo	TiAlCN	STiN	μAlTiN			
Alumínium (> 12% Si)	nACo TiCN	nACo TiCN	TiCN-MP TiCN-MP	GRADVIC TiCN-MP	TiCN-MP STiN	TiCN-MP TiCN-MP	STiN CrN	nACo TiCN	nACo GRADVIC
Alumínium (< 12% Si)	TiCN-MP GRADVIC	TiCN-MP GRADVIC	TiCN-MP GRADVIC	TiCN-MP GRADVIC	TiCN-MP STiN	TiCN-MP GRADVIC	STiN CrN	GRADVIC CROMVIC	GRADVIC GRADVIC
Szuper ötvözetek (Ti, Ni, Mg, Fe, ...)	nACo GRADVIC	nACo GRADVIC	nACRo nACo	nACRo GRADVIC	nACo TiAlCN	nACo GRADVIC	STiN CrN	GRADVIC nACo	GRADVIC nACRo
Réz	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN
Bronz	TiCN-MP	TiCN-MP	TiCN-MP	TiCN-MP	TiCN-MP	TiCN-MP	STiN	TiCN-MP	TiCN-MP
Műanyagok	TiCN	TiCN	TiCN	TiCN	TiCN	TiCN	CrN	TiCN	TiCN

A bevonat — 1. javaslat
 B bevonat — alternatíva

1.3. táblázat [7]

A titán-nitrid (TiN) bevonat szinte minden technológiában alkalmazható, ezért a legelterjedtebb bevonatfajta volt az elmúlt 25 évben. Az új bevonatok megjelenésével ugyan vesztett piaci részesedéséből, de még mindig rengeteg helyen alkalmazzák. Keménysége közepesnek mondható a bevonatok között, a maga 24 GPa nanokeménységével. Súrlódási tényezője magas (0,55), rétegvastagsága 1-7 μm között változhat, ami elég vastagnak mondható. Maximális alkalmazhatósági hőmérséklete 600 °C, ami egy kicsit alacsony, de a gyorsacélhoz elegendő. További nagy előnye, hogy biokompatibilis, azaz mind az orvostudomány, mind pedig az élelmiszeripar alkalmazza [6].

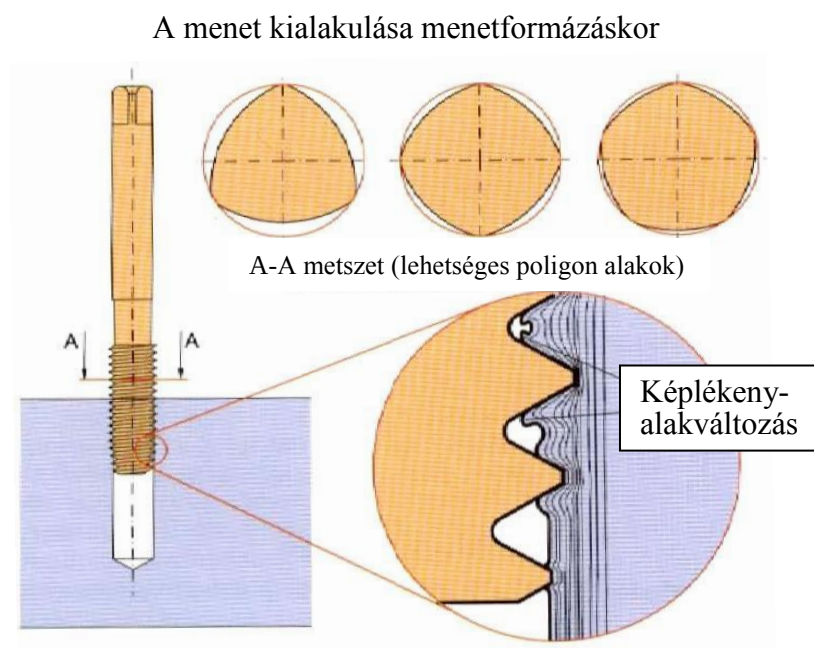
A tián-karbonitrid (TiCN) bevonat potenciális versenytársa a TiN bevonatnak. Egyre elterjedtebb, mivel a bevonatolás célzott irányításával a nitrid és karbid rétegek variálhatóak, így réteg tulajdonságai változtathatóak. Gyakorlatilag egy kompozit bevonatot hozhatunk létre, melynek felszíne csúszós ($\mu=0,2$), nanokeménysége magas (37 GPa) és még a repedések is nehezebben terjednek benne. Hátárnya, hogy a maximális alkalmazhatósági hőmérséklete csak 400 °C [6].

1.3. Menetformázás technológiája

1.3.1. Mi is az a menetformázás?

A menetformázás egy viszonylag új technológia, a menetfúrás alternatívája, és amelynek térhódítása rohamos ütemben növekszik. Ennek oka, hogy olcsóbban lehet vele meneteket készíteni, mint fúrással, valamint a formázott menetek szilárdsága is jóval nagyobb.

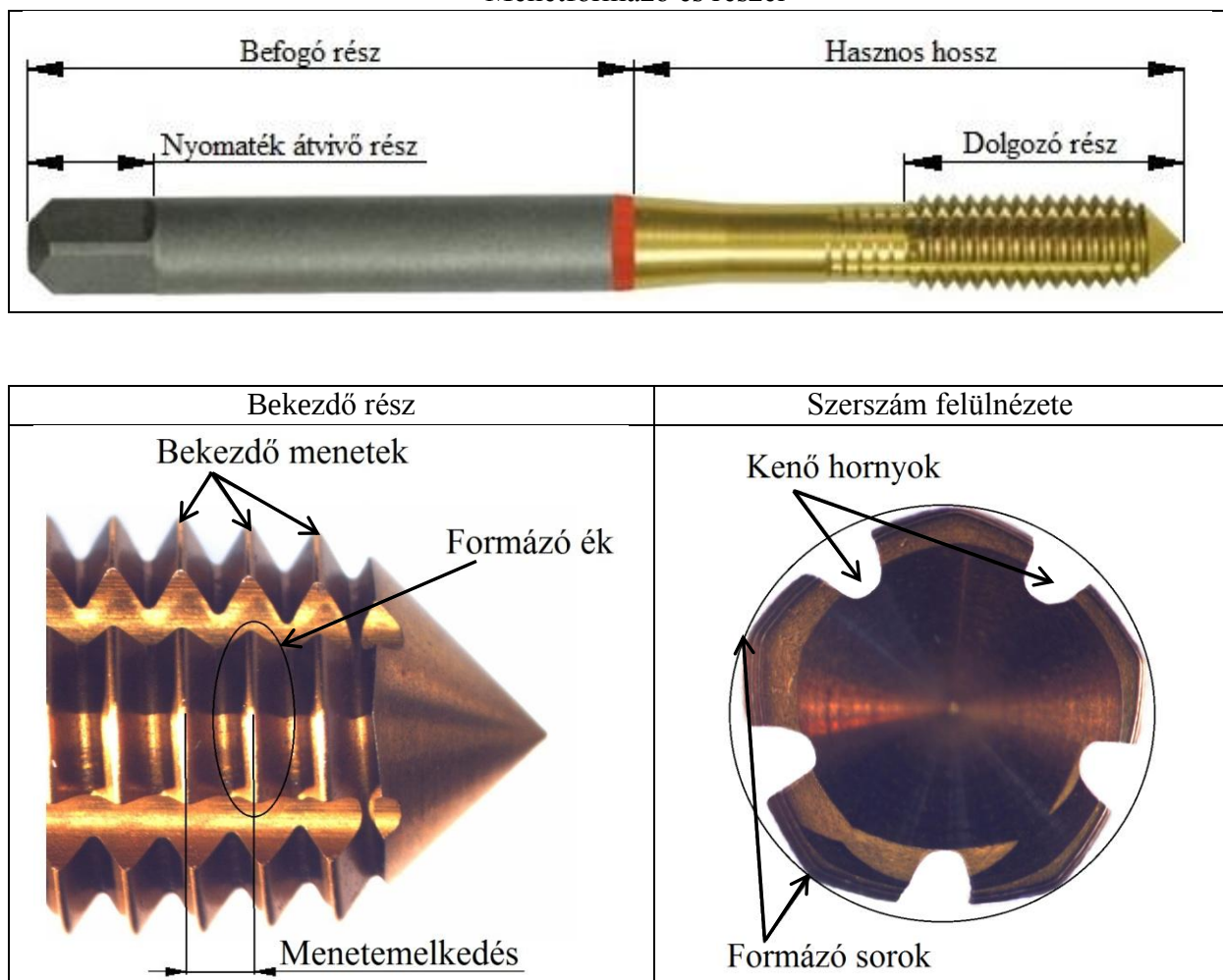
A technológia alapja, hogy a menetet nem forgácsolással, hanem képlékeny alakítással állítjuk elő. Ennek folyamatát az 1.4. ábrán láthatjuk.



1.4. ábra [8]

A menetformálás alapgondolata az, hogy egy csavart belecsavarunk a magfuratba, és az majd képlékenyen kialakítja a menetet. Viszont ez lehetetlen, mert nagy a súrlódó felület, igen nagy energiaközléssel járna, ami hővé alakulna. Ez gyakorlatilag szerszám és a munkadarab összehegedésével járna. Ezért a szerszám alakja nem hengeres, hanem szabályos poligon profilú. A poligon kialakítása és alakja a szerszám átmérőjétől függ. Ez az alak lehetővé teszi, hogy formázó ékek alakuljanak ki a palástfelületen végigvezetett menetszelvényből. Ezen ékek, alakjuknál fogva az anyagba fokozatosan lépnek be és ki, valamint a súrlódó felület is kicsi. Továbbá természetesen a menetfúrónál már megszokott módon bekezdő menetekkel indul az alakítás, így fokozatosan alakul ki a menetprofil. A szerszámot az 1.5. ábra mutatja be.

Menetformázó és részei



1.5. ábra [9]

A bekezdő rész lehet hosszabb és rövidebb is. Ezt szabvány rögzíti, melyhez tartaniuk kell magukat a gyártóknak.

Az alkalmazott bekezdőrész alakok:

- B-típus: a bekezdőrészen a menetek száma 3,5 és 5 között van
- C-típus: a bekezdőrészen a menetek száma 2 és 3 között van
- E-típus: a bekezdőkúpon a menetek száma legfeljebb 2 [8]

A szerszám anyaga általában gyorsacél, amely öntészeti vagy porkohászati lehet. A nagy teljesítményű formázók viszont finomszemcsés keményfémből készülnek, a még nagyobb teljesítmény elérése érdekében. Természetesen ez a szerszám árában is megmutatkozik [8].

A bevonatot tekintve az elsődleges kíváncsi a kis súrlódási tényező, hiszen képlékeny alakításról beszélünk. A bevonat keménysége másodlagos, a hőállósága pedig gyakorlatilag nem játszik szerepet. Épp ezért az ajánlott bevonat a TiCN, mint azt az 1.3. táblázatban is láthattuk.

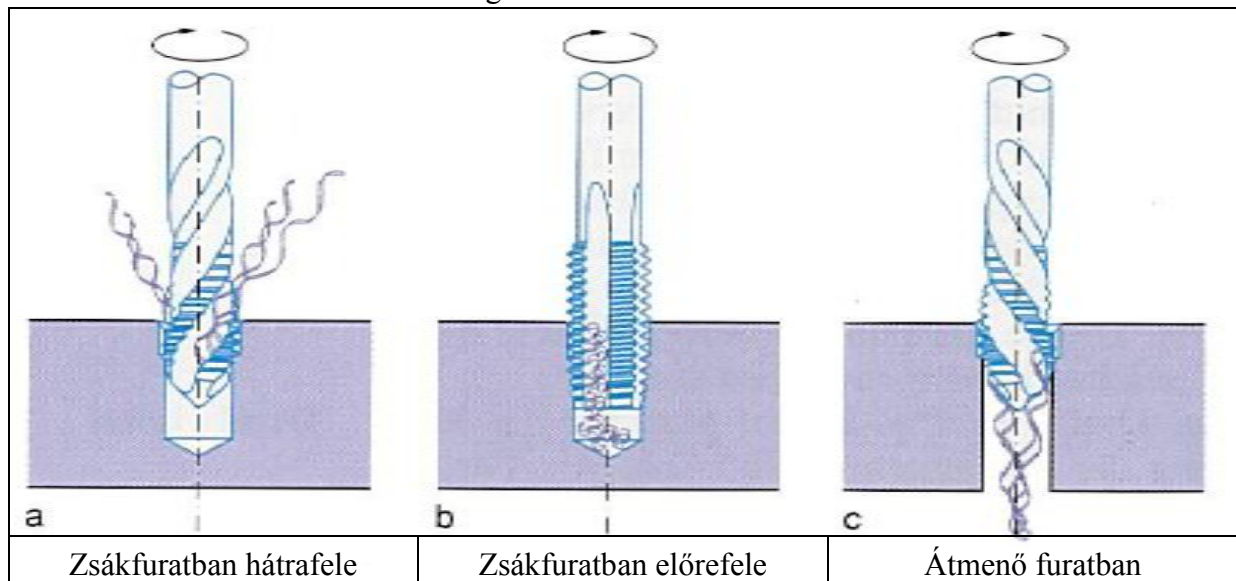
1.3.2. Menetformázás előnyei

A menetformázás előnyei a menetfúráshoz képest:

- Nem termel forgácsot.
- Azonos szerszámmal készíthető zsák, illetve átmenő menet.
- Nem igényel külön készüléket a menetfúráshoz képest, ezért bármikor át lehet rá állni, akár gyártás közben is.
- A hidegalakításnak köszönhetően a menet szilárdsága növekszik.
- Nagyobb sebességen dolgozik úgy, hogy közben a szerszám éltartama is növekszik.
- Környezetbarát eljárás, mert a legtöbb esetben elegendő a minimál kenés [10].
- A teljes hasznos hossz méretéig lehet vele menetet készíteni.
- Kis bevezető kúp esetén a szákfuratban hosszabb menetet lehet vele gyártani [8].

Mivel az alakítás során nem képződik forgács, ezért annak kezelésével nem is kell foglalkozni, nem úgy, mint menetfúrásnál, ahol ez rengeteg problémát okoz. Ezt az 1.6. ábra szemlélteti. A helytelen terelés a forgács beszorulását okozhatja a szerszám és a munkadarab között, amelynek eredménye akár szerszámtörés is lehet.

Forgácselvezetés menetfúráskor



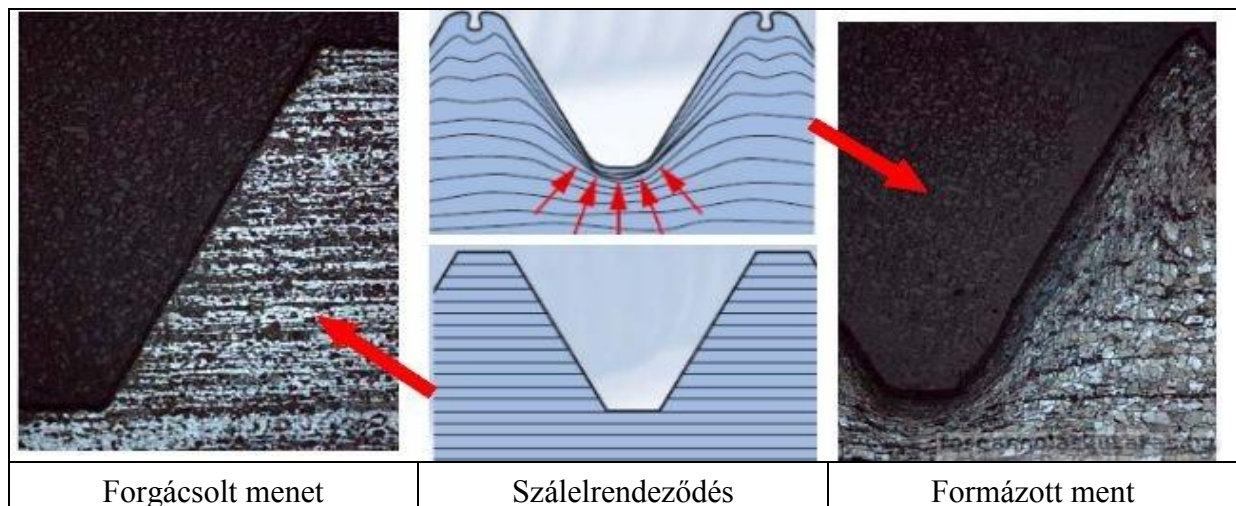
1.6. ábra [8]

Épp a forgácskezelés az oka annak, hogy zsák és átmenő furatok esetén más-más szerszámgeometriát kell alkalmazni a menetfúráskor. A formázásnál viszont ez az akadály nem is jelentkezik. Sőt, amilyen mélyre csak engedi a szárának a hossza, azaz a teljes hasznos hosszban képes menetet készíteni.

A menetformázás a menetfúrás tökéletes alternatívája, azaz a mozgásviszonyok ugyanazok, ezért nem kell külön egyéb befogókra és készülékekre költeni. Az utóbbiak potenciális hibaforrások is lehetnek, hisz minél több készüléken keresztül fogjuk be a szerszámot, annál több helyen viszünk be a rendszerbe hibát, szerszámütést.

A menet hidegalakításának anyagtulajdonsági szempontokból két előnye is van. Az egyik, hogy a menet felkeményedik, kopásállóbb lesz. A másik pedig az, hogy alakítás során nem szakítjuk meg az anyag szálszerkezetét, csak torzítjuk azt, így a menet szilárdsága megnő. Ezt az 1.7. ábra szemlélteti [11].

Forgácsolt és formázott menet szelvénye



1.7. ábra

1.3.3. Menetformázás hátrányai

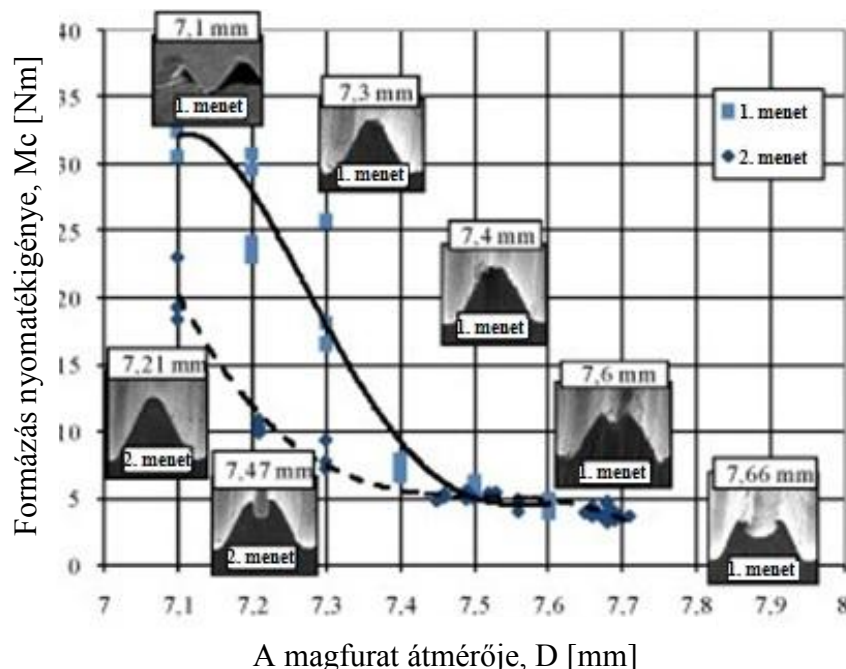
A menetformázás hátrányai a menetfúráshoz képest:

- A magfurat pontossága rendkívül fontos.
- Nagy szakítószilárdságú ($>1400 \text{ N/mm}^2$) és kis szakadási nyúlású ($<5\%$) anyagok, valamint műanyagok formázása nem ajánlott.
- 1200 N/mm^2 szakítószilárdságú anyagok felett 10%-os emulziós kenés javasolt [8].

A technológia anyagkihozatali-tényezője jobb, mint a menetfúrásé, mert a magfurat átmérője kisebb. Ennek oka a térfogat-állandóság, mivel hidegalakítás során az anyag térfogata az alakítás közben közel állandó. Így a menetszelvény előállításához, a formázott menethez kisebb magfuratot kell készíteni, mint a menetfúrásnál.

Ennek a magfuratnak a pontossága kulcskérdés, mivel ha túl nagy, akkor nem lehet szabatos menetet előállítani, mert nincs elég anyag a helyes menetszelvény kialakításához. Ha viszont túl kicsi, akkor a túl sok anyag nem fér el a menetszelvényben és kitüremkedik a furat elején, illetve átmenő furat esetén a végén is. Továbbá megnövekedett nyomatékigénnyel és kopással jár, tehát mindenféleképpen kerülendő. A magfurat méretének és az előállított menetszelvény minőségének összefüggése az 1.8. ábrán látható [12].

A formázás nyomatékigénye a magfurat méretének függvényében



1.8. ábra [12]

A diagramon szereplő metszeti képekből látszik, hogy a túl nagy magfurat a menetszelvény szétnyílását okozza. Ez nem csak a terhelhetőség csökkenését okozza, de a

szelvény sorjás is lesz, ami könnyen lekophat, és roncsolhatja a menetet, ha a kötőelemet gyakran szét-, illetve összeszerelik.

A magfurat mérete a következőképpen fejezhető ki.

$$D = D_n - P/2$$

$$\text{Magátmérő} = \text{Menet névleges átmérője} - \text{Menetemelkedés}/2$$

A tűrése 0...+0,05 mm, azaz nagyon kicsi, amelynek betartását nem lehet eléggé hangsúlyozni, hisz ez a technológia legkritikusabb pontja [8].

Természetesen minden területen nem lehet kiváltani a menetfúrást a menetformázással, hisz bizonyos anyagok hidegalakítása még ilyen kis mértékben sem lehetséges.

1.4. Forgácsolhatóság, nehezen forgácsolható anyagok

1.4.1. Forgácsolhatóság definíciója, befolyásoló tényezői

A forgácsolhatóság a munkadarab anyagminőségével összefüggő komplex jellemző, amely a forgácsolás közbeni viselkedésének és a műveletben előállított felület minőségének megítélésére, vagy minősítésére szolgál [13].

Tehát szoros összefüggésben van az anyag kémiai összetételével, valamint hőkezelttségi állapotával, fizikai tulajdonságaival. Mivel egy komplex jellemzőről beszélünk, ezért nem lehet csupán egy szempontból vizsgálni az anyagot, azaz pusztán az anyag keménysége nem sok mindent árul el a forgácsolhatóságáról. Ezért csak több jellemző együttes megfigyelésével kaphatunk információkat a kérdésben. Ezeket a jellemzőket megmunkálás közben kell vizsgálni, hisz csak akkor kapunk pontos, életszerű eredményeket [13].

Általánosságban elmondható, hogy az acél ötvöző tartalmának növekedésével romlik annak forgácsolhatósága. Persze bizonyos esetekben ez épp fordítva történik, hisz az automata acélokat például kénnel „szennyezik”, hogy a kénzárványok következtében töredezett forgácsot kapjunk [13]. Mindenféleképpen el szeretnénk kerülni a folyóforgács keletkezését. Hiszen ez nem csak balesetveszélyes, de a felületi minőséget is befolyásolhatja, például „összekaristolhatja” a már megmunkált felületet.

Nehezen forgácsolható az anyag, ha:

- komoly koptató hatása van a szerszámmra
- nagy hőtermeléssel jár a forgácsolása
- folyóforgács keletkezik belőle
- az előállított felület gyenge minőségű [13]

Az általunk végzett kutatásokat is ilyen anyagokon végeztük, ezért ki szeretnénk emelni két példát a nehezen forgácsolható anyagok közül.

1.4.2. Ausztenites korrózióálló acél forgácsolhatósága

Az egyik általunk alkalmazott anyag az ausztenites korrózióálló acél volt. Ahhoz, hogy az anyag magas hőmérsékleten se lépjen reakcióba az oxigénnel, azaz korrózióálló legyen, legegyszerűbben krómötvözéssel érhetjük el. A króm ferrit- és karbidképző, valamint szemcsefinomító hatású. Minimum 12% oldott Cr-ot kell tartalmaznia az acélnek ahhoz, hogy létrejöjjön az oxigénben dús krómoxid hártya, amely egy áthatolhatatlan réteget képez az oxigén számára. Ahhoz, hogy ez magasabb hőmérsékleten is megmaradjon, még több oldott krómot kell tartalmaznia az acélnek. A króm azonban növeli a szakítószilárdságot és a szakadási nyúlást is, ezért rontja a forgácsolhatóságot. Ha meghaladja a 26% Cr-tartalmat az acél, akkor igen nehezen alakíthatóvá válik [14].

A króm erős karbidképző, a karbonnal króm-karbidot (Cr_{23}C_6) képez, ami növeli a szemcsehatár korrózió veszélyét és gyengíti a korróziós tulajdonságokat. Ezt elkerülendő nagyon alacsonyra kell beállítani a karbon-tartalmat, 0,05% alá [14].

A króm mellett a nikkel is növeli a korrózióállóságot, és mellette az ötvözet szívósságát is javítja. Erős ausztenitképző, így stabilizálja azt. Mivel drágább ötvöző, mint a króm, ezért kisebb mennyiségben alkalmazzák, de ettől függetlenül az ausztenites korrózióálló acélok másodlagos ötvözője [14].

A nagy ötvöző tartalommal elérhető, hogy az acél a szilárdságát 600 °C-ig megőrizze, ennek viszont az az ára, hogy megmunkálhatósága csökken. Nagy forgácsoló erők ébrednek, a rossz hővezetés miatt nagy hő keletkezik, amely terheli a szerszámot, nagymértékű kráteres kopást okozhat. A forgács típusa folyó forgács, hacsak nem ötvözik kénnel, ami viszont rontja a korrózióállási tulajdonságokat. Továbbá általános jelenség, hogy élrátét keletkezik forgácsolásakor, valamint felkeményedik a felület, minek következtében a szerszám élén leválhat a bevonat, így élkitöredezés lép fel és rossz felületi minőség alakul ki [14] [15].

1.4.3. Műanyagalakító szerszámacélon végzett formázás

A másik általunk végzett kutatás a menetformázás volt. Ennek alapanyaga egy műanyag alakító szerszámacél (DIN 1.2311) volt, amelyet előnemesített állapotban kellett megmunkálni.

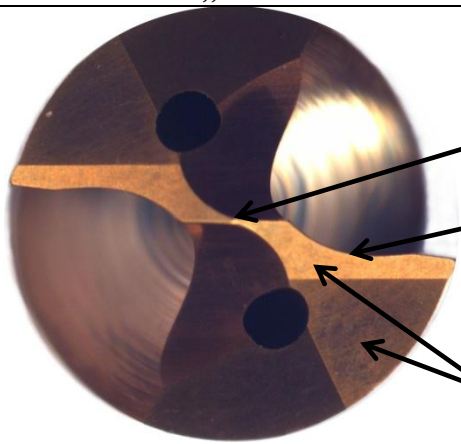
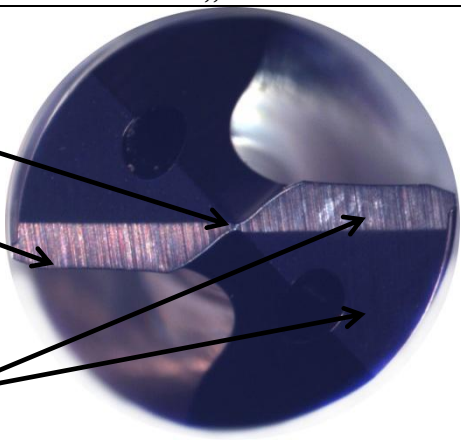
Bár szakadási nyúlása magas, 14-17% szobahőmérsékleten, ez formázáshoz tökéletes. Viszont szakítószilárdsága elérheti az 1100 N/mm² -t. Ez azért probléma, mert fokozott kenést, 10%-os emulziót ajánlanak ilyen magas szakítószilárdságú anyag formázásához. Mi azonban egy környezetbarát technológiai kísérletet hajtottunk végre, aminek fontos követelménye, hogy minimál kenést alkalmazzunk [16] [8].

2. Korszerű fúrószerszámok összehasonlító vizsgálata

2.1. A vizsgált szerszámok

A fúrási vizsgálatokra két élvonalbeli szerszámgyártó csigafúrója állt rendelkezésünkre. Mivel nem hatalmaztak fel minket, hogy közöljük a nevüket, ezért „A” és „B” gyártóként jelennek meg a dolgozatban.

A két szerszám geometriáját a 2.1. ábra mutatja be.

A vizsgált fúrószerszámok		
„A”	Gyártó	„B”
	Keresztél	
	Főél	
	I.-II. Hátramunkálás	
Megerősített élcsúcs	HÖK csatornák	
Keresztél homlokfelülete	III. Hátramunkálás	
		Fejbevonat
		Polírozott forgácshorony
		
TiCN-MP	Bevonat	TiCN
10 mm	Átmérő	9,5 mm

2.1. ábra

Látható, hogy mind a két szerszám a hagyományos, gyorsacél anyagú csigafúrótól eltérő élgeometriával rendelkezik, tartalmazza mindazokat a fejlesztéseket, amelyeket az 1.2. fejezetben említettem.

Mind a két szerszám keresztéle minimális, szinte nincs is. Ebben egyeznek, viszont a főél kialakítása teljesen más. Mind a két főél egyenesekből és rádiuszokból áll és nehéz leírni, hogy pontosan hogy is néznek ki. Valamint az fontos, hogy az „A” gyártó termékének főéle a képzeletbeli vízszintes tengelyvonal alatt van, és ezért a keresztél nem kapna megfelelő homlokfelületet. Ezért ki kell alakítani azt egy újabb megmunkálással.

A hátramunkálások száma mindkét szerszámnál három, az első kettő mértéke hasonló, viszont a „B” szerszám harmadik hátramunkálása jóval nagyobb, mint az „A” szerszámé.

Hűtő-öblítő-kenő, azaz más néven H-Ö-K csatornák mind a két szerszámon megtalálhatóak, ezért a megmunkálás során belső hűtést használtunk.

A „B” szerszám csak fejbevonattal rendelkezik, a forgácshornya pedig polírozott, hogy minél kisebb legyen a forgács súrlódása a horonyban és könnyebben tudjon eltávozni a furatból.

Mind két szerszám bevonata TiCN, csak az „A” gyártóé egy különleges multifunkcionális fajta, amelynek jele MP (Multi-Purpose).

2.2. A megmunkált darab méretei, anyaga

A tesztadarab erre a célra volt előkészítve, a Láng Gépgyárból (ABB Kft.) származó, korrózióálló acéltömb. Anyaga MSZ-jelöléssel Ko36, azaz DIN W.Nr. 1.4511 számú ausztenites acél, normalizált állapotban, keménysége átlagosan HB193. Méretei 230x30x95 mm, az előmunkált fűrőlap vastagsági mérete 30 mm. Vegyi összetétele lentebb látható a 2.2. ábrán, amelyet – anyaganalízis hiányában – a Böhler Kft. honlapjáról töltöttem le.

Vegyi összetétele						A tesztadarab	Fényképe
						A700	
Chemische Zusammensetzung (Anhaltswerte in %)				Chemical composition (Average %)			
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti		
0,03	0,50	1,70	17,50	9,70	min. 5xC		

2.2. ábra [17]

2.3. Megmunkálási körülmények, mérőeszközök

A vizsgálatokat MAZAK Nexus 410A jelű szerszámgépen végeztük (2.3. ábra). Függőleges orsóelrendezésű, kutatási célra fenntartott, kiváló állapotú gép. Teljesítménye 12 kW, maximális fordulatszáma 12000 1/min.



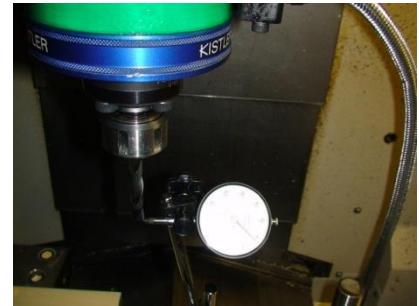
2.3. ábra

A szerszámot patronos befogóval csatlakoztattuk a szerszámgéphez. A szerszámbemérést HATHOR szerszámbemérőn (2.4. ábra) végeztük, majd utána mérőórával ellenőriztük a szerszám ütését, már a főorsóban. Ez 0,03 mm-en belül volt, ami megfelelt a kívánalmaknak, patronos befogással jónak mondható.



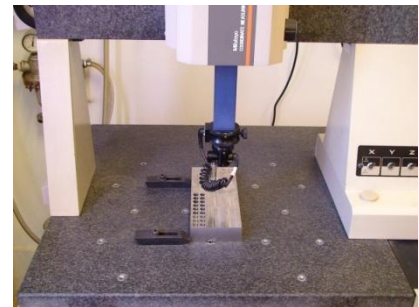
2.4. ábra

A nyomaték- és erőméréseket egy KISTLER 9257A (2.5. ábra) típusú forgó erő- és nyomatékmérő berendezéssel végeztük. Az adatrögzítést és kiértékelést a DynoWare szoftver segítségével hajtottuk végre, majd számítógép segítségével tovább elemeztem a kapott eredményeket.



2.5 ábra

Az elkészült furatok köralakhibáját, és méretpontosságát a Mitutoyo cég BX303 jelű (2.6. ábra) koordinátamérőgépén végeztük az egyetem hosszmeréstechnikai laborjában. A kapott értékeket számítógépen regisztráltam és értékeltem ki.



2.6. ábra

A furatfalak érdességét Mahr Perthometerrel (2.7. ábra) végeztük, MFV 250 jelű karos tapintóval. Egyszerre összesen 14 érdességi jellemző értékét rögzítettük számítógépen, majd ezeket hasonlítottuk össze.



2.7. ábra

2.4. Forgácsolási paraméterek, a kísérlet menete

A forgácsolást azonos forgácsolási sebességen ($v_c=59,7$ m/min) végeztük. A nyomatékot és az előtoló erőt különböző furatmélységeken (10, 15, és 20 mm) és különböző előtolás értékekkor (0,06; 0,08; 0,1; 0,12; és 0,14 mm) vizsgáltuk.

A mérés fő célja az volt, hogy korrózióálló acél forgácsolásakor milyen hatással van az előtolás sebessége a nyomatékra, és az előtoló erőre. A mérést mérőlapokon regisztráltuk, majd számítógépen kiértékeljük.

Az így kapott értékek közt hatványfüggvény regresszió segítségével teremtettünk kapcsolatot, és így meg tudtuk határozni a fúráskor fellépő fajlagos forgácsoló erőt ($k_{c1.1}$), valamint a hozzá tartozó hatványértéket (q_c) is.

A mérés másik célja az előállított furatok minőségi vizsgálata, illetve a keletkezett forgács és ezzel a szerszám forgácssterelő képességének minősítése volt.

A kapott eredmények az **1. mellékletben** kaptak helyet.

2.5. Az eredmények kiértékelése, elemzése

2.5.1. A fajlagos forgácsoló erő meghatározása

A rögzített mérési eredményeket a 2.1. táblázat tartalmazza, amelyben a regressziós függvény konstansa és kitevője is szerepelnek. A regressziós függvénye a következőképpen írható le.

$$M_{\text{creg}} = C_{MC} \times f^{Y_{MC}} [\text{Nm}]$$

S. szám	f [mm]	L [mm]	vf [mm/min]	„A” szerszám				„B” szerszám			
				$M_{\text{cát}}$	M_{creg}	C_{MC}	Y_{MC}	$M_{\text{cát}}$	M_{creg}	C_{MC}	Y_{MC}
1	0,10	10	200	4,2	4,19	21,933	0,7193	4,0	3,90	17,837	0,6599
2	0,12	10	240	4,7	4,77			4,4	4,40		
3	0,14	10	280	5,3	5,33			4,9	4,87		
4	0,08	15	160	3,5	3,57			3,4	3,37		
5	0,10	15	200	4,2	4,19			3,9	3,90		
6	0,12	15	240	4,8	4,77			4,4	4,40		
7	0,06	20	120	2,8	2,90			2,8	2,79		
8	0,08	20	160	3,7	3,57			3,4	3,37		
9	0,10	20	200	4,3	4,19			3,9	3,90		

2.1. táblázat

Az egy lépésben végzett telibe fúráshoz szükséges nyomatékigény (kétélű szerszám esetén) a következő egyenlettel írható le [18].

$$M_c = \frac{k_{c1.1}}{(0,5 \times \sin \sigma / 2)^{q_c}} \times \frac{f^{1-q_c} \times d^2}{8000} [\text{Nm}], \text{ ahol}$$

$k_{c1.1}$ – a fajlagos forgácsoló erő főértéke [N/mm^2]

q_c – a forgácsvastagság hatványkitevője

σ – vágókúpszög [$^\circ$]

d – a fúró átmérője [mm]

f – az alkalmazott előtolás [mm]

Az egyenletben két ismeretlen szerepel: a $k_{c1.1}$ és a q_c . Ha a nyomaték értékét ismerjük, a függvény egy egyszerű egyenletrendezéssel megoldható. Behelyettesítés után az Excel Solver modulját használva a két ismeretlenre az alábbi megoldások születtek:

	„A” szerszám	„B” szerszám
$k_{c1.1}$	1419	1223
q_c	0,28	0,34

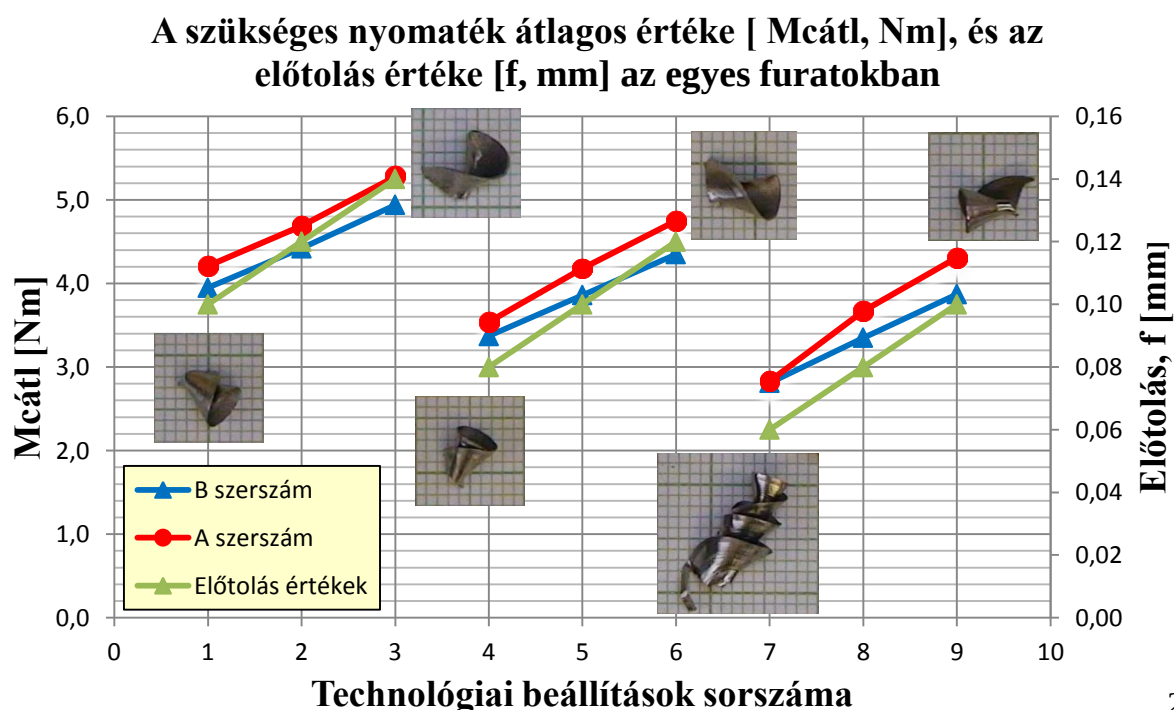
A táblázatból kiderül, hogy a vizsgált anyagban az „A” cég szerszámával végrehajtott fúrás nagyobb fajlagos forgácsolóerő főértéket igényel, a forgácsvastagság hatványkitevője viszont kisebb. Ez azt jelenti, hogy „B” fúró alkalmazásakor az előtolás jobban befolyásolja a nyomaték-, és a teljesítményigényt.

Természetesen ez csak néhány mérés és nem lehet egyértelmű következtetéseket levonni. A későbbi technológia tervezés során azonban ezek a fenti értékek egy kiinduló (tájékoztató jellegű) adatnak éppen megfelelnek.

2.5.2. A keletkezett forgácsalakok minősítése

A geometria fejlesztése lehetővé tette, hogy korrózióálló anyagban a 2.8. ábrán látható forgácsok keletkezzenek. Látható, hogy az előtolás nagyban befolyásolja mind a nyomaték, mind a forgács alakulását. Mindkét szerszám forgácsstörőképessége rendkívül jónak mondható. Természetesen a kopás függvényében ez nagy valószínűséggel változna.

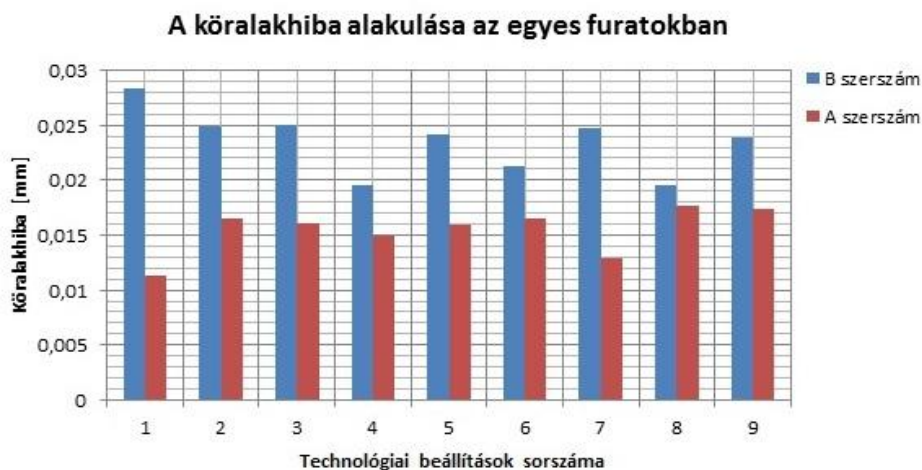
Alacsonyabb előtolás érték beállításakor a forgács mérete megnő, elkezd „spirálósodni”. Ez azt jelenti, hogy forgácsképződés szempontjából ajánlott a magasabb előtolás használata.



2.8. ábra

2.5.3. A készített furatok alak- és méretpontossága

A furatok mérése során figyelembe kellett vennünk a koordinátamérőgép sajátosságait: a 12 pontos mérés során nem vehetünk fel a gép x és y-tengelyével 45°-os szöget bezáró pontokat, mert ott nem „tud” elég pontosan mérni. A mért eredményeket a **2. melléklet** tartalmazza. A 2.9. és a 2.10. ábrák segítségével két megállapítást szeretnénk szemléltetni.



2.9. ábra

A fenti oszlopdiagramból látható, hogy alakhibát tekintve mind a két szerszám pontos, azaz 0,03 mm hibahatáron belüli furatokat állított elő. A kör alakhibát tekintve az „A” gyártó szerszáma minden furatban jobban teljesített. Természetesen nem lehet kijelenteni teljes bizonyossággal, hogy e tekintetben a „B” rossz szerszám, hiszen nem fűrtünk elég sok furatot. Kérdés lenne az is, hogy néhány 100 vagy 1000 furat után (elhasználódás, kopás, élállapot stb.) hogyan alakulna ez a fontos pontossági paraméter.

A másik, hasonlóan fontos pontossági jellemző a névleges mérettől való eltérés. Ez a tűrések tarthatóságát jelzi. Megszokott, hogy a telibe fűrást az IT10 tűrés pontosságot meghaladó, nagyoló eljárásnak mondjuk. Az alábbi 2.10. ábra a két vizsgált szerszám méretelőállító képességét megfelelően jellemzi.



2.10. ábra

A diagramon jól látható, hogy a megmunkált zsákfuratok pontossága IT7 – IT9 értékek közötti. Megjegyezendő, hogy az „A” cég szerszáma a H8 tűréshatáron belül dolgozott, és fúrója többségében pontosabb furatokat készített.

A vizsgálati eredményekből az is leszűrhető, hogy a furatok pontossága a 3., az 5., a 6. és a 9. adatbeállításoknál a legnagyobb. Ebből arra következtethetünk, hogy fúrók a nagyobb (jellemzően $f=0,1$ mm fölötti) előtolás értékeknél forgácsoltak kedvezőbben. Ez a meglepő eredmény azért jelentős, mert a nagyobb pontosság termelékenyebb megmunkálással érhető el. A vizsgálat nagyon kedvező eredménye az is, hogy ajánlott előtolás értékeket lehet kijelölni ezekhez a szerszámokhoz.

2.5.4. A készített furatok felületi érdessége

A vizsgált beállításoknál elért érdességi jellemzőket a 2.2. táblázat tartalmazza. Az szűrt és a szűretlen érdességértékek a **3. mellékletben** található ábrákon figyelhetők meg.

Már az elemzés elején le kell szögezni, hogy mindkét szerszám meglepően jó felületi érdességű furatfelületeket gyártott. Ez látható az R_a értékeinek alakulásából is, ahol egyébként a „B” szerszám jobban teljesített.

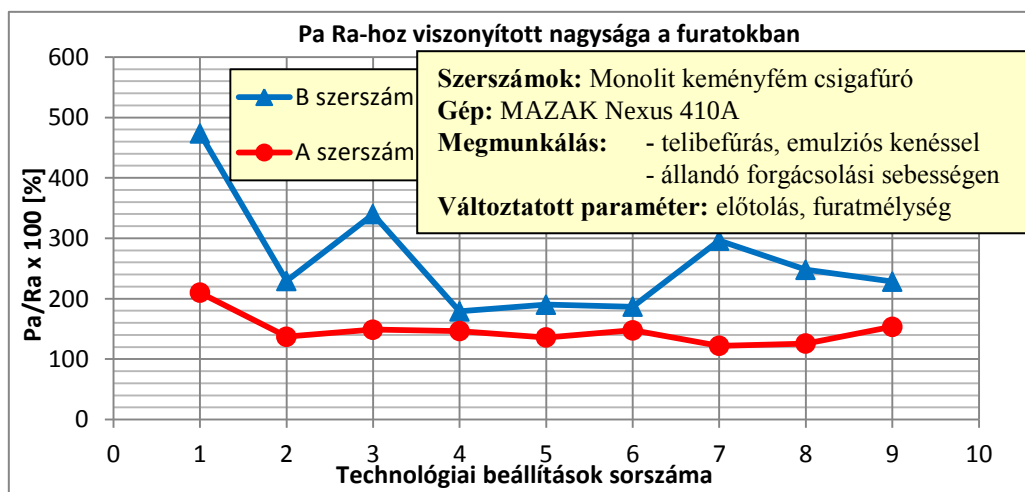
S. szám	f [mm]	L [mm]	„A” szerszám				„B” szerszám			
			R_a	P_a	R_{ku}	R_{sk}	R_a	P_a	R_{ku}	R_{sk}
1	0,10	10	1,084	2,276	9,013	1,587	0,741	3,508	4,521	-0,901
2	0,12	10	1,023	1,403	2,786	-0,330	0,882	2,023	3,266	-0,457
3	0,14	10	1,296	1,929	11,635	1,876	0,825	2,803	3,696	-0,704
4	0,08	15	1,347	1,971	3,694	0,426	1,629	2,915	2,910	0,095
5	0,10	15	1,749	2,374	4,505	0,404	1,490	2,833	3,378	-0,283
6	0,12	15	1,643	2,427	3,998	0,248	1,052	1,963	3,503	-0,789
7	0,06	20	1,099	1,343	3,016	-0,282	1,814	5,372	3,786	-0,311
8	0,08	20	1,731	2,176	2,993	-0,008	1,298	3,220	4,349	0,709
9	0,10	20	1,558	2,390	2,934	0,160	0,780	1,781	5,132	0,055

2.2. táblázat

Az eredmények alaposabb vizsgálata után az alábbi két megállapítás tehető.

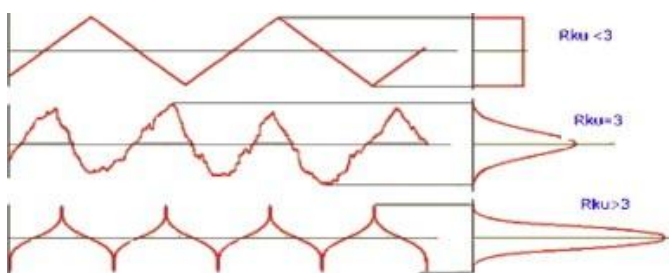
1. fúráskor a szűrt profilra értelmezett R_a és a szűretlen profilon megállapított P_a nagyban eltérnek egymástól (nem úgy, mint esztergáláskor). E megállapítás tehető az egyetemünkön már régóta ez irányban kutató Dr. Palásti Kovács Béla és Dr. Czifra Árpád Tanár Urak munkássága nyomán [19]. Ez azt jelenti, hogy bár a szűrt profil R_a érdessége kicsi, azonban a szűretlen, tehát a valós profil P_a érdessége igen nagy. A 2.11. ábrán látható az, hogy különbség akár a négyszeres értéket is elérheti. Ebből az következik, hogy az alkatrész műhelyrajzán fúráskor helytelen felületérdességi előírásként megadni

az Ra értékét. Természetesen az iparban egyébként ritka a nyers furatok érdességének megadása, tűrésezése és ellenőrzése, de bizonyos technológiákra, mint például a menetformázásra, kihatással lehet. Az előmunkált magfurat felületi érdességénél ez például fontos tényező, mert kihat a kenőanyagfilm kellő feltapadására, valamint a szerszám súrlódásának minimalizálására is.

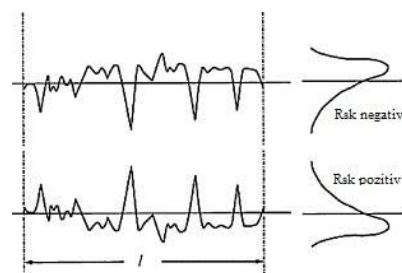


2.11. ábra

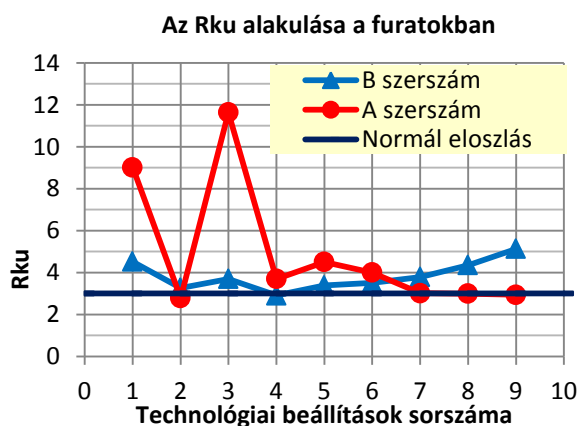
- A másik észrevétel pedig a felületi érdesség magasságirányú paraméterének eloszlását jellemző Rku (kurtosis) és Rsk (skewness) értékeire vonatkozik. A 2.12. ábra és a 2.13. ábra szemlélteti a két paraméter alakulását a különböző felületeknél. A közölt 2.14, illetve 2.15. ábrákon látható, hogy az $Rku > 3$, azaz a felületre a hegyes csúcsok jellemzőek. A „B” szerszám egészen a 6. beállításig egészen jó értékeket teljesített, és ez igaz a lentebb látható Rsk diagramra is [20].



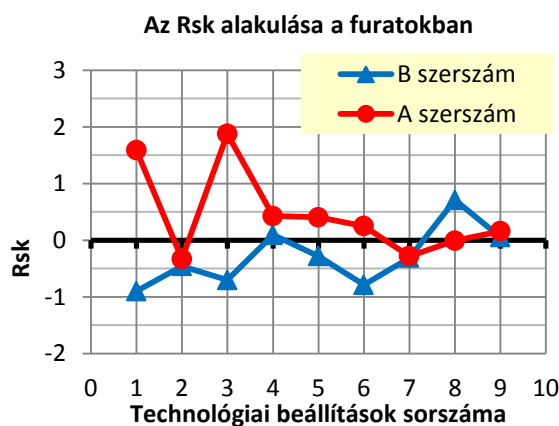
2.12. ábra [20]



2.13. ábra [20]



2.14. ábra



2.15. ábra

Az viszont egészen meglepő, hogy a két szerszám között mekkora különbség van az R_{sk} alakulásának tekintetében! A „B” fúró a kenőanyag hordozóképeség szempontjából sokkal jobb minőségű felületet állított elő a 6. beállításig, hisz az $R_{sk} < 0$, az R_{ku} pedig csak kicsit nagyobb, mint a kritikus 3 érték. Megjegyezzük, hogy a méretpontosság tekintetében is ekkor volt a legkedvezőbb, hiszen $f > 0,1$ előtolás mellett dolgozik optimálisan a szerszám.

2.6. Megállapítások, összegzés

A kísérlet során meghatároztuk a fajlagos forgácsoló erő, azaz a $k_{c1.1}$ és a forgácsvastagság kitevőjének q_c értékét, amelyek a további megmunkálások során kiinduló adatok lehetnek. Ezzel hozzájárultunk, hogy az ipar információkat szerezzon az ausztenites korrózióálló acél forgácsolhatóságáról.

A kísérletek bebizonyították, hogy a hagyományos fúrási technológia fejlődése miatt újra kell értelmezni a régi téziseket, miszerint a telibefúrás csigafúróval egy nagyoló eljárás. Igen jó minőségű furatok állíthatóak elő ezekkel a szerszámokkal, felül kell vizsgálni, hogy a telibefúrással elérhető méretpontosság IT10-12, mert ezek a szerszámok (helyes technológiai beállítások esetén) akár IT8 méretpontossággal is képesek termelékenyen dolgozni. Megállapítottam, hogy $f > 0,1$ mm előtolás mellett kedvezőbben dolgoznak, mint kisebb értékekkor. Ez fokozottan igaz az „A” gyártó termékére, tehát valószínűleg a geometria pontosabb furatok előállítására alkalmas.

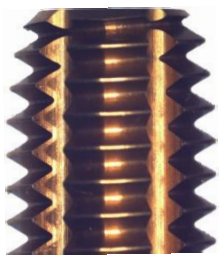
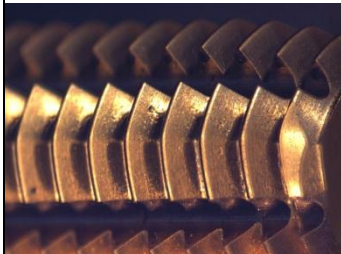
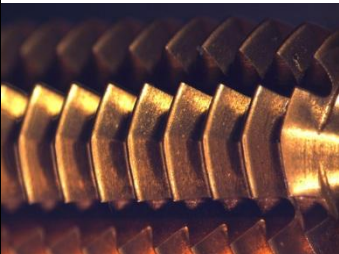
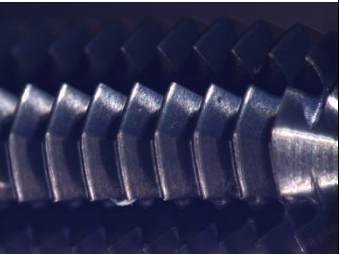
Az iparban leggyakrabban R_a , illetve R_z értékeket adnak meg felületi érdességi előírásnak. Ezt a „szokást” is újra kellene gondolni, mert a valós profil (P_a), nagyban eltér az R_a -tól. Ha a furatban, egy mozgó gépelem dolgozik, nem szabad figyelmen kívül hagyni a hullámosságot, illetve a profil telítettségét, azaz az R_{sk} és az R_{ku} paramétereket. A „B” szerszám ezek tekintetében jobban szerepelt, vagyis a kialakított geometria jobb felületi érdességet állított elő.

Természetesen ez rövid lefolyású technológiai kísérlet volt, azaz csak a teljesen új szerszámok viselkedésére vonatkozik. A jövőben ezeknek a szerszámoknak meg kellene vizsgálni az elhasználódását is, valamint azt, hogy kopott állapotban milyen minőségű furatokat képesek előállítani.

3. Korszerű bevonatú menetformázók vizsgálati eredményei

3.1. A vizsgált szerszámok

A kísérleteket két szerszámgyártó összesen hét szerszámán végeztük. Mind a kettő élvonalbeli szerszámgyártó. Mivel nem kaptunk engedélyt nevük megjelenítésére, ezért a dolgozatban „A”, illetve „B” gyártóként fognak szerepelni. A szerszámok méretei azonosak, mindegyik M8 menetformázó, de a két gyártó által alkalmazott geometria különbözik. A szerszámokat a 3.1. táblázat ismerteti.

Gyártó	„A”	„B”	„B”
Bevonat típusa	TiN	TiN	TiCN
Szerszámok száma (db)	3	2	2
Bekezdő rész alakja	c-form	c-form	c-form
Csúcs kialakítása			
Formázó sor			

3.1. táblázat

Három szerszámtípus állt rendelkezésünkre, mindegyik bekezdő része a DIN 2197 szabvány szerinti C kialakítású. Viszont az „A” gyártó termékén nincs kúp, így zsákfuratokban hosszabb meneteket képes előállítani. A formázó sorok kialakításán szemmel nem látszik semmilyen különbség. Egyedül a színük különbözik, azaz más-más bevonat van rajtuk, hisz azonos bevonat típusok között is lehet különbség.

3.2. A megmunkált darabok

A tesztdarabok az erre a célra előkészített fűrőlapok voltak. Anyaga 40CrMnMo7 (DIN 1.2311), amely egy szerszámacél műanyagalakító szerszámok alakos betétjeinek készítésére.

Előnemesített állapotban keménysége 310-320 HV, szakítószilárdsága 950-1100 N/mm²! Méretei 160x50x12mm , melyből a 12 mm a vastagsága, azaz a fűrt és formázott hossz. Vegyi összetétele a 3.1. ábrán látható, melyet a Büttner Kft. (Nagyatád, Taranyi u.) bocsátott rendelkezésünkre.

A megmunkált darab és annak vegyi összetétele

C, %	Si, %	Mn, %	Cu, %	Al, %	Cr, %	Mo, %
0,39	0,33	1,46	0,11	<0,001	1,72	0,19
Ni, %	V, %	Ti, %	Nb, %	Co, %	W, %	
0,31	0,03	0,009	0006	0,04	<0,01	



3.1. ábra [17]

3.3. Vizsgálati körülmények

Ugyanazon a szerszámgépen végeztük a menetformázást, mint a második fejezetben ismertetett fűrási kísérleteket, és ugyanazokat az eszközöket is használtuk. Ezért csak azokat a körülményeket ismeretetem, amelyekről még nem esett szó.

A legfontosabb alkalmazott berendezés menetformázáskor a hosszkiegénylítés befogó. A befogó a szerszámgép és a szerszám közt oly módon teremt kapcsolatot, hogy bizonyos fokú elmozdulást engedélyez tengelyirányban a szerszámnak. Erre azért van szükség, mert a szerszámon kialakított menetemelkedésből és a szerszám fordulatszámából adódó előtolás értéke nem egyezik pontosan a szerszámgép előtolásával. Ez az útmérőrendszer és a hajtások pontatlanságából adódik, kiküszöbölhetetlen hiba. Mértéke nem nagy, de ha nem lenne kompenzálva a hosszkiegénylítővel, akkor könnyen eltörhetne a szerszám [21].

A formázó sorok kopását pedig egy HiTec GmbH. WMS 3D sztereomikroszkópon figyeltük meg és az Image-Pro Insight program segítségével mértük a kopás mértékét.

Mivel a menetformázásnál nincs szükség komoly hűtésre, ezért csak kenni kell a szerszámot, amelyet minimálkenéssel hajtottunk végre, kenőolajnak pedig TRIM TAP NC növényi észtert használtunk.

3.4. A vizsgálat célja és menete

A kitűzött cél a különböző bevonatok, illetve szerszámkonstrukciók összehasonlítása volt, különböző technológiai beállítások mellett. A kísérlet során alkalmunk volt megfigyelni a szerszám működése során fellépő, az éltartamot befolyásoló egyéb tényezőt is.

A hét szerszámot három különböző forgácsoló sebesség beállítása mellett ($v_c=16, 20, 25$ m/min) vizsgáltuk. Mivel az „A” szerszámból volt három ugyanolyan bevonatú, ezért azt mindhárom sebességen leteszteltük, és a „B” gyártó két különböző bevonatát pedig csak 20, illetve 25 m/min forgácsoló sebességen.

A vizsgálatokat a magfuratok előállításával kezdtük. Minden táblát először kifűrtünk, majd a furatokat sülyesztettük és ugyanebben a felfogásban elkészítettük a meneteket, hogy ne vigyünk a rendszerbe felfogási hibát.

A magfuratokat monolit keményfém csigafúróval állítottuk elő. A magfurat ajánlott átmérőjét megtaláltuk a formázó szerszámok ajánlásában ami $\varnothing 7,4\text{mm}$, amihez tartottuk magunkat.

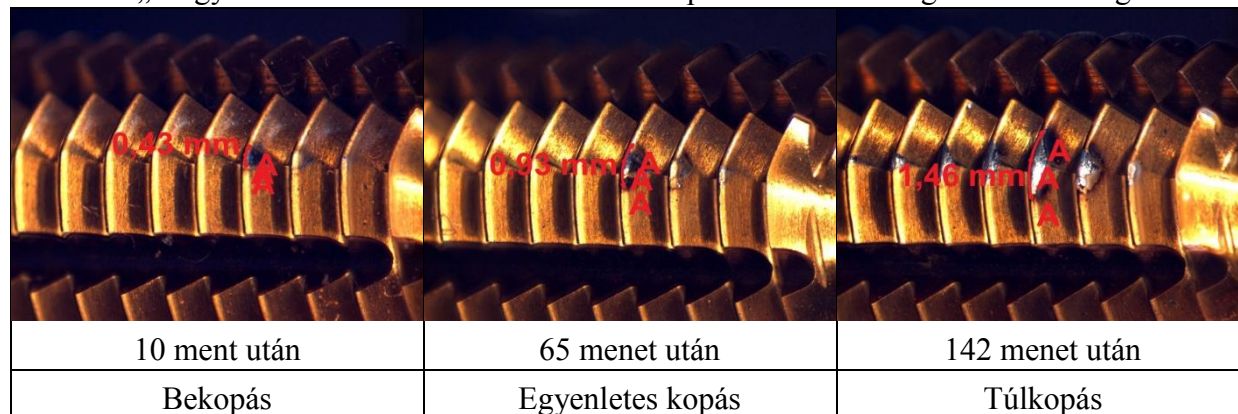
A mérésekkor az M_c ébredő nyomatékigényt és az F_f előtolás irányú erőket mértük és a DynoWare szoftver segítségével regisztráltuk, illetve értékeltük ki. A kopásjelenségeket a forgácsolás elején minden egyes menet után megfigyeltük, majd - mivel ez rengeteg időt és energiát emésztett volna fel, valamint nagymértékű változás nem volt megfigyelhető -, ezért öt menetenként, majd igen nagy menetszámok esetén tíz menetenként figyeltük a kopást.

3.5. Eredmények értékelése és elemzése

3.5.1. A formázók kopása és éltartama

A formázó kopását mindig azon a soron kell mérni, amelyiken kezdődik a menetszelvény kialakítása. Azaz amelyik először érintkezik a furat falával, mert valószínűleg annak lesz a legnagyobb kopása. A formázó soron belül mindig a negyedik formázóék kopását mértem, a 3.2. ábrán látható módon.

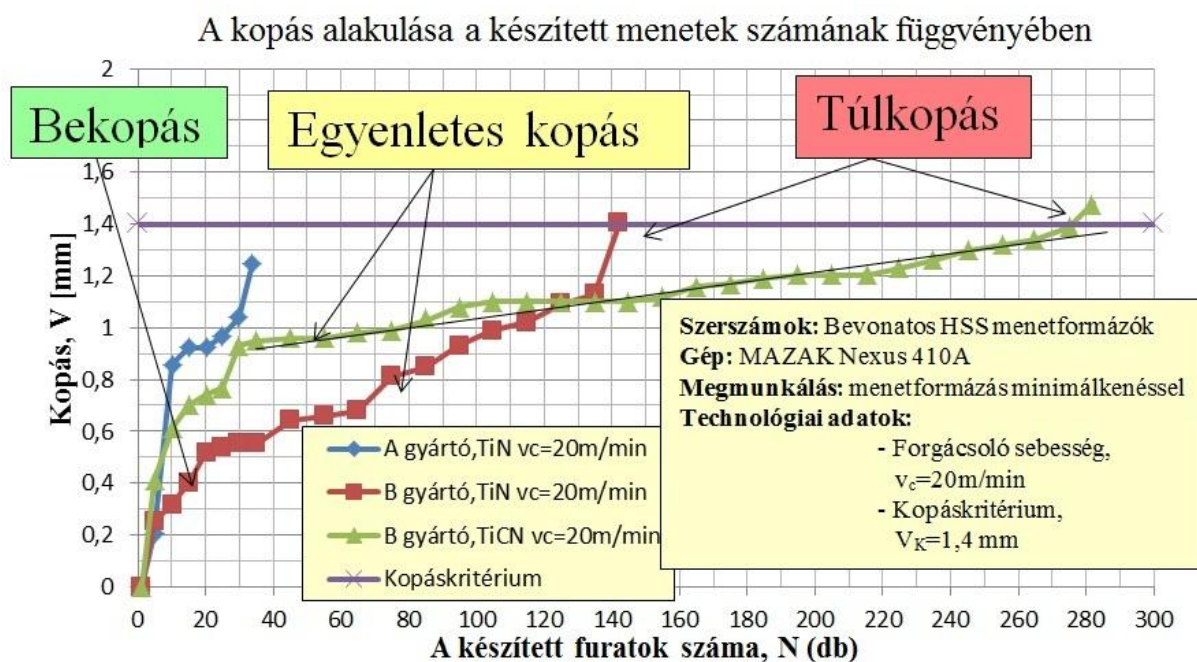
„B” gyártó TiN bevonatú szerszámának kopása 20 m/min forgácsolósebességen



3.2 ábra

Egy ívet illesztettem a kopásra és ennek az ívnek a hosszát vettem a kopás értékének, majd ezeket dolgoztam fel és készítettem el a 3.3. ábrán látható kopásgörbét. Kopáskritériumnak – előző vizsgálatok tapasztalatai alapján – $V_K=1,4$ mm ívhosszt jelöltem ki [10]. Az egyes szerszámok kopásának alakulását a **4. melléklet** tartalmazza.

Először a negyedik formázó ék kezd el kopni, ugyanis ez kapja a legnagyobb terhelést, mivel ez végzi az alakítás legnagyobb részét. A kúpos kialakítás miatt az előtte lévő ékek terhelése kisebb, az utána lévők pedig már csak kalibrálják a menetet.



3.3. ábra

Az eredmények elég meglepőek voltak, mert egyes szerszámok jóval a várakozás alatt teljesítettek. Ez a 3.2. táblázatból is kitűnik.

Formázási sebesség, v_c [m/min]	Készített menetek száma, n [db]		
	„A” gyártó TiN	„B” gyártó TiN	„B” gyártó TiCN
16	500	-	-
20	34	142	282
25	1	13	27

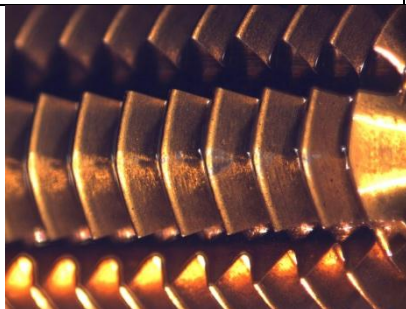
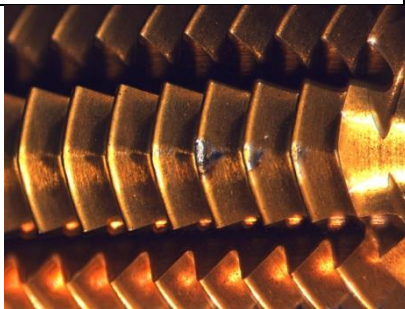
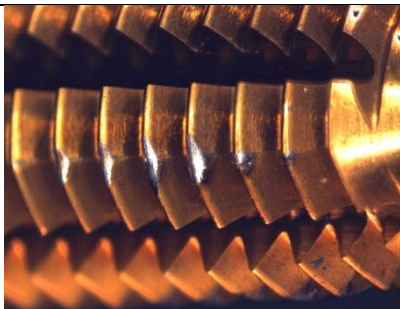
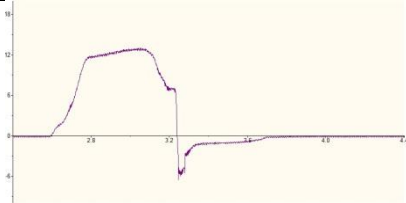
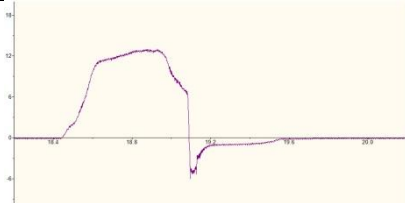
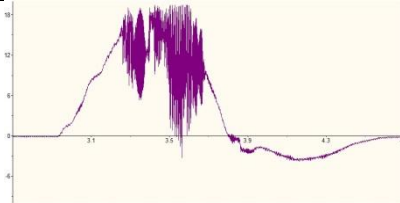
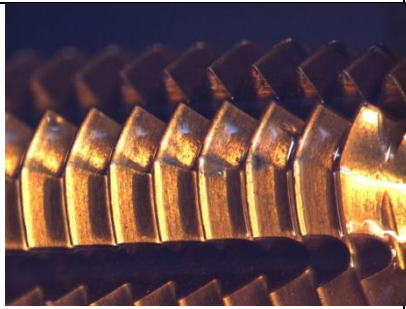
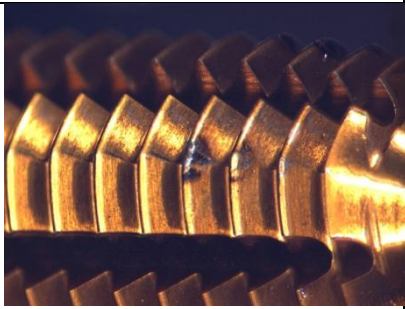
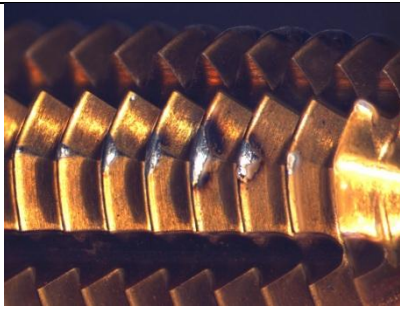
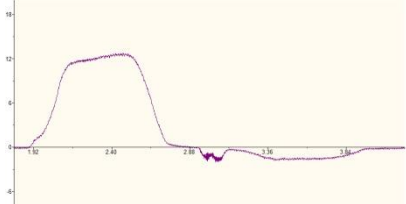
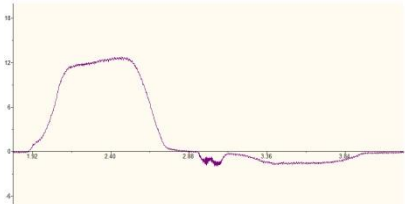
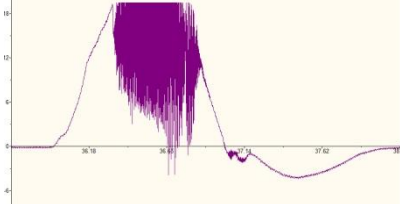
3.2. táblázat

A táblázatból megállapítható, hogy a forgácsolósebesség jelentősen befolyásolja a szerszám élettartamát, mivel a sebesség 20%-kal történő csökkentése az élettartamot tízszeresére növelte. Az is látszik, hogy mekkora jelentősége van a geometriák közti nem látható különbségnek. A „B” gyártó TiN bevonatos szerszáma ugyanazon a forgácsolósebességen négyszer annyi menetet állított elő, mint az „A” gyártóé. De a

bevonatok közti különbség hatása is rendkívüli: ugyanazon gyártó TiN bevonatú szerszáma fele annyi menetet tud készíteni, mint a TiCN bevonatú változat. Ez várható eredmény volt, hisz a TiCN bevonatnak jobbak a súrlódási tulajdonságai.

3.5.2. A kopás hatása a nyomatékigényre

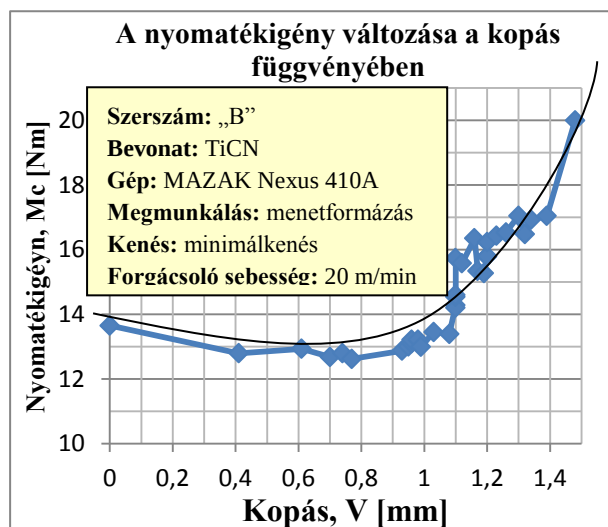
A kopás nyomatékra gyakorolt hatása a 3.3. táblázatban látható. A másik két szerszámmra vonatkozó hasonló ábrákat az **5. melléklet** tartalmazza.

”B” szerszám, TiN bevonattal, $v_c=25\text{m/min}$					
1. menet		5. menet		13. menet	
					
					
$M_{\max}$ 13 Nm		$M_{\max}$ 13 Nm		$M_{\max}$ 20 Nm	
M_{rev} -6,5 Nm		M_{rev} -5,9 Nm		M_{rev} -3,8 Nm	
”B” szerszám, TiN bevonattal, $v_c=20\text{m/min}$					
1. menet		75. menet		142. menet	
					
					
$M_{\max}$ 12 Nm		$M_{\max}$ 13,2 Nm		$M_{\max}$ 20 Nm	
M_{rev} -4,9 Nm		M_{rev} -5,6 Nm		M_{rev} -4,3 Nm	

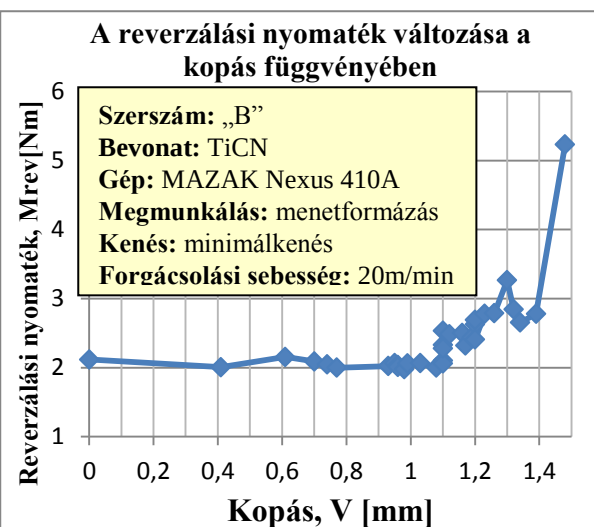
3.3. táblázat

(Az utolsó diagramok alakja azért torz, mert a nyomaték elérte a mérési tartomány határát és a szoftver már nem tudta kiértékelni az eredményeket. A formázók ilyen kopottsággal már csikorgó hang fellépésével dolgoztak.)

A 3.4 ábra tanúsága szerint a nyomaték alakulásában egy érdekes jelenség figyelhető meg: a maximum a kopás függvényében növekszik, de nem monoton módon. Először csökken, azaz bekopik a szerszám, kialakul számára az optimális mikrogeometria és ezen dolgozik.



3.4. ábra



3.5. ábra

Viszont a visszajárási, azaz a reverzálási nyomaték alakulására ez már annyira nem jellemző a 3.5. ábra szerint. Legalábbis kisebb forgácsolósebességen nem. A nagyobb forgácsolósebességen végzett formázás reverzálási nyomatéka ugrásszerűen kezdődik és jellemző végig a kopása folyamán.

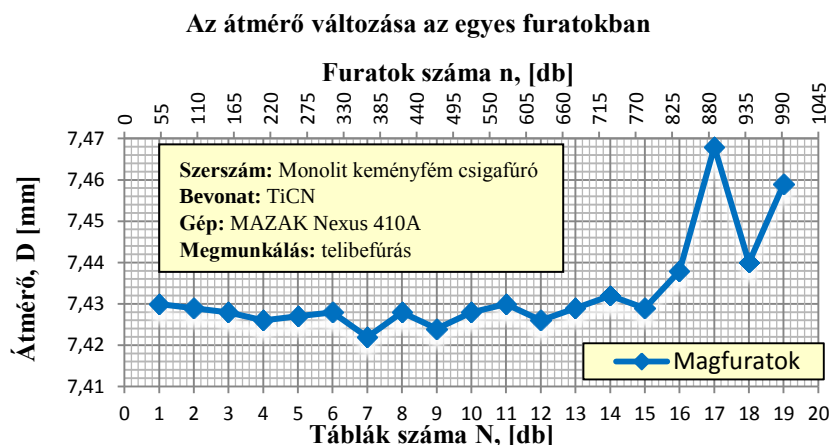
Mivel a kopás és a nyomaték szorosan összefügg egymással (lásd 3.4 és 3.5 ábrák), ezért a nyomatékigényből a szerszám kopására lehet következtetni. Természetesen nem lehet minden szerszámgépet felszerelni nyomatékmérővel, de minden modern CNC vezérlésű szerszámgép rendelkezik teljesítménymérővel. A teljesítmény és a nyomatékigény között az alábbi összefüggés áll fenn.

$$P_{c\max} = \frac{M_{c\max} [\text{Nm}] \times n [1/\text{min}]}{9550} [\text{kW}]$$

Az egyenletbe az $M_{c\max}$ helyére a kísérleti úton meghatározott határnyomaték-értéket behelyettesítve megkapjuk azt a teljesítményértéket amelynek elérésekor szerszámot kell váltani. Ez az érték formázósebességenként különböző volt. A szerszámok nagyon hasonló nyomatékértékek körül dolgoztak és drasztikusan megugrott a mért nyomaték, mielőtt végleg elkoptak. Például 20 m/min formázósebességen ez a határnyomaték 19,4 Nm volt, amelyet akár éltartamkritériumnak is tekinthetünk és a jövőben teszteléseknél is felhasználhatjuk.

3.5.3. A magfurat minőségének hatása a formázott menet minőségére

A vizsgálatok során 19 fúrotáblába összesen 1064 furatot készítettünk, melyekből 999 menetet formáztunk. A későbbi vizsgálatok céljából minden táblában hagytunk egy épp magfuratot, hogy méretének alakulását megfigyelhessük. Ezt 3.6. ábra szemlélteti.

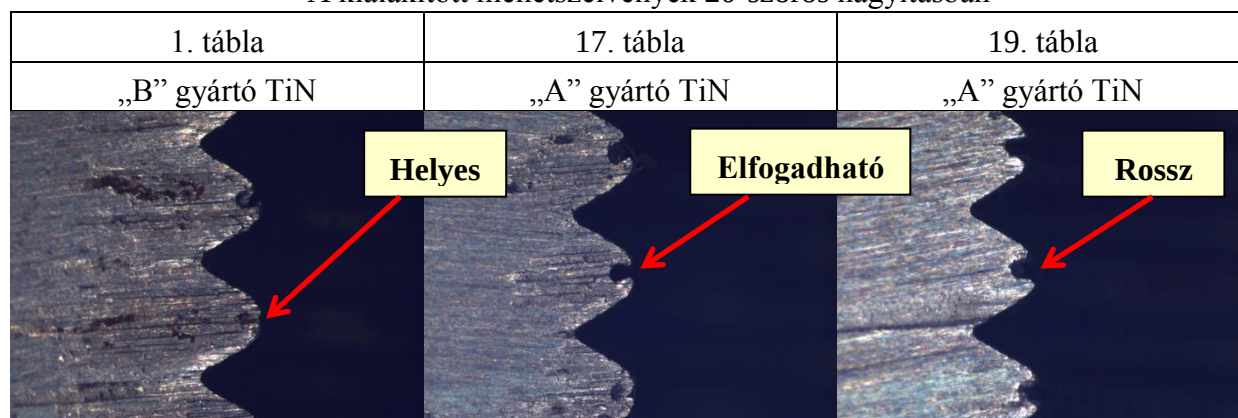


3.6. ábra

Látható, hogy a 15. tábláig 7,43 mm átmérő körüli furatokat készített a szerszám, ezután viszont erőteljesen elkezdett kopni. Ezt a forgács alakja is jelezte, ugyanis már nem volt képes törni a forgácsot, folyóforgácsot termelt, amely feltekeredett a szerszámmra, így azt ki kellett cserélni. Viszont a másik szerszám már nagyobb furatokat gyártott, (de még mindig elfogadható határok között). Ez látszik a készített menetek minőségén is, melyet a 3.4. táblázat tartalmaz. Természetesen nem mértünk le minden furatot koordináta mérőgéppel, így nem lehet biztosan mondani, hogy minden furat átmérője a táblán azonos. Az viszont valószínűsíthető, hogy a 16. 17. 18. és 19. táblákon a korábbiaknál nagyobbak.

A fúrolapok szétfűrészelése után a formázott menetszelvényeket a 3.4 táblázat mutatja be.

A kialakított menetszelvények 20-szoros nagyításban



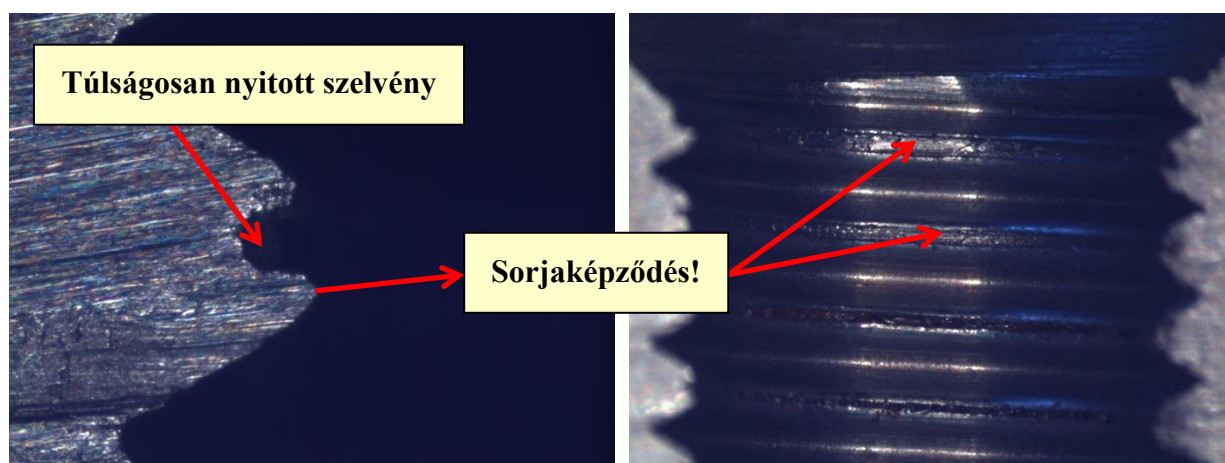
3.4. táblázat

Megállapítható, hogy a kísérlet kezdetén, amikor még kisebb átmérőjű furatokat produkált a szerszám, akkor a profilok zárt alakúra formálódtak. Ezért a formázók terhelése nagyobb és elképzelhető, hogy ez okozta a rendkívül alacsony éltartam értékeket. Az átmérő növekedésével egyre nyitottabb szelvényeket kaptunk. A 17. táblán készített menet még teljesen jónak mondható. A képen látható legfelső szelvény azért nyitottabb, mert közvetlenül a süllyesztés után helyezkedik el és nem volt elég anyag a profil helyes kialakulásához.

A 3.4 táblázat szerint a 19. táblán megmunkált szelvény már teljesen nyitott. Bár a menetidomszer „nem-megy” oldalát nem lehetett belesavarni, ettől függetlenül a menet terhelhetősége bizonyára kisebb. A nagyobb átmérő következtében a szerszám terhelése is csökkent. De inkább kopjon el hamarabb a szerszám és gyártson helyes profilokat, minthogy selejtet gyártsunk.

Egy szétnyílt meneten sorja is keletkezett, amelyet a 3.7. ábra felvétele mutat.

A menetszelvény profilja és felülnézete



A szelvény 45-szörös nagyításban

A nyitott szelvény 10-szeres nagyításban

3.7. ábra.

Ez a sorja a gépelem összeszerelése során leszakadhat, koptathatja a menetet, tehát az élettartamát mindenképpen csökkenti. További kérdéseket vet fel, hogy a nyílt profil potenciálisan összegyűjti a szennyeződések, hisz a felülete láthatóan gyűrött. Könnyebben elkezdhet oxidálódni a megnövekedett felület miatt. Az ilyen formázott profilok tehát mindenféleképpen kerülendők.

3.6. Megállapítások, összegzés

A kísérletek mindenképpen sikeresnek mondhatók. A magfuratok átmérőjének növekedése azonban hibára vezetett. Az ipari gyakorlatban is hasonlóan végzik a menetformázást: a fúroszerszám kopása ott is bekövetkezik. Ilyen szempontból a kísérlet eredményei talán még jobban is közelítik a valóságot.

A bevonatok közül a várt eredményt kaptam, a TiCN bizonyult a legjobbnak. Kétszer akkora éltartamaot adott, mint a TiN-el bevont szerszám. Kimondható tehát, hogy nagy szilárdságú acélok formázására a TiN bevonat kevésbé alkalmas.

A nyomaték alakulásából lehet következtetni a szerszám állapotára, ezt igazolták a mérési eredmények is. Nyomatékfelügyelettel megmunkálás közben is lehet ellenőrizni a szerszámot a megmunkálás megszakítása nélkül. Ha drasztikusan megnő a nyomaték, akkor kell szerszámot váltani, nem pedig akkor, amikor már teljesen elkopott, amire sivítő hangjelenség figyelmeztet minket. Ez még nem lenne „gond”, viszont azt kockáztatjuk vele, hogy selejtes menetet készítünk.

A magfurat hatása a menetre már szintén régóta ismert. A kísérlet igazolta, hogy ha nem figyelünk oda kellőképpen a méretére, akkor könnyen készíthetünk selejtes menetet.

Viszont arra még nem világítottak rá eléggé, hogy ezt a menetet hogyan ellenőrizzék. Hisz a menetidomszeres vizsgálat nem szűrte ki a 19. táblában lévő menetet, pedig a szelvénye elég nyitott volt. Ezért fel lehet tenni a kérdést, hogy bár formázott menetet állítottunk elő, aminek a terhelhetősége elvileg nagyobb, mint a fúrté és a minőségellenőrzésen is átment. De vajon valóban nagyobb-e a terhelhetősége?

Erre a kérdésre csak további vizsgálatokkal kaphatunk választ, amelyek a menetek terhelhetőségét veszik vizsgálat alá. Az éltartamvizsgálat folytatásával éltartam v_c -T diagramokat is lehetne szerkeszteni, amivel támogathatnánk a felhasználók munkáját. Erre azért nem volt most lehetőség, mert azonos konstrukciójú szerszámból csak kettő-kettő, illetve három állt rendelkezésünkre.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulenseim közül elsőként Dr. Sipos Sándornak, hogy tanácsaival mindig a helyes útra próbált vezetni, felhívta figyelmemet hibáimra, és így ki tudtam azokat javítani. Köszönöm Csuka Sándor és Tállai Péter intézeti mérnököknek, hogy konzulensként segítettek a munkámat és Bille Péter hallgatótársamnak, hogy közreműködött a mérések végrehajtásában.

Továbbá köszönöm:

- Szalóki István intézeti mérnöknek, hogy értékes tanácsaival megkönnyítette munkámat;
- Borossay Béla Tanár Úrnak, hogy a munkadarabok keménységének mérésénél segített;
- Kis Ferenc tanszéki mérnöknek, hogy a készített furatok méret- és alakpontosságának meghatározásában segítségemre volt.
- Dr. Palásti Kovács Béla Tanár Úrnak, hogy a furatok felületi érdességi paramétereinek mérésében segítségemre volt;
- Végül, de nem utolsó sorban pedig Balogh József kollégium Igazgató Úrnak, hogy kollégiumi férőhelyet biztosított számomra a nyári termelési gyakorlat ideje alatt.

Megtiszteltetésnek érzem, hogy ilyen emberekkel dolgozhattam, és kitüntetésnek tartom, hogy megírhattam ezt a TDK dolgozatot. Szándékom az volt vele, hogy öregbítsem az Intézet hírnevét. Remélem, nem okozok csalódást és nem követtem el semmilyen súlyos szakmai hibát az elkészítése során.

Ezt a dolgozatot életem első igazi komoly mérnöki munkájának tartom, sok munkám van benne, bizonyára akad benne hiba, de olvassák úgy, ahogy írtam.

A dolgozat része annak a projektnek, amely az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. (TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások)

Tisztelettel: A szerző

Irodalom:

- [1] Sipos Sándor: A termék minőségét növelő fejlesztési tendenciák, Forgácsoláskutatás fakultáció előadás anyag (BAGGIV4NNC), Budapest, 2012.
- [2] Magyarkúti József: Fúrás, dörzsárazás, Budapest, 2008,
http://109.74.55.19/tananyag/tananyagok/gaz,%20ep.gepeszet,%20gepe/5_0111_tartalo_melem_020_munkaanyag_100630.pdf, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [3] Angyal, B. – Dodorné – Palásti, B. – Sipos, S.: A forgácsolás és szerszámai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988
- [4] kép: http://94.199.180.149/html/dpi/efeladat/sz_etankonyv/tankonyv.php?p_id=82534, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [5] SZIE előadás anyag: Szerszámok és szerszámrendszerek II.,
http://rs1.sze.hu/~papaig/FORG_SZERSZ_AJ012_AJ040_NGB_LGB_MM_Automobil_Prod/JEGYZETEK_SEGEDLETEK/SZERSZ%c1MOK%20%c9S%20SZERSZ%c1MRENDSZEREK/Szersz%e1mok%20%e9s%20szersz%e1m%20rendszerek_II.pdf, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [6] Vass Zoltán: Szerszámbevonatok, Győr, 2005,
http://rs1.sze.hu/~papaig/FORG_SZERSZ_AJ012_AJ040_NGB_LGB_MM_Automobil_Prod/JEGYZETEK_SEGEDLETEK/SZERSZ%c1MOK/Vass%20Zolt%e1n_Szersz%e1mbevonatok.pdf, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [7] Pannon Platit Kft.: Bevonat tájoló, 2012,
http://www.pannonplatit.com/m/coating_guide.html, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [8] SZIE előadás anyag: Szerszámok és szerszámrendszerek III.,
http://rs1.sze.hu/~papaig/FORG_SZERSZ_AJ012_AJ040_NGB_LGB_MM_Automobil_Prod/JEGYZETEK_SEGEDLETEK/SZERSZ%c1MOK%20%c9S%20SZERSZ%c1MRENDSZEREK/Szersz%e1mok%20%e9s%20szersz%e1m%20rendszerek_III.pdf, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [9] kép: http://perfor.shoprenter.hu/st9_menetformazo_m_steel_19237, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [10] Tálai, P. – Csuka, S. – Sipos, S.: Menetformázók teljesítménynövelése optimalizált bevonatok alkalmazásával,
http://www.forgacsolaskutatas.hu/innovacio/menetformazok_teljesitmenynovelese_optimalizalt_bevonatok_alkalmazasaval, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [11] Carvalho – Brandao – Panzera – Lauro: Analysis of form threads using fluteless taps in cast magnesium alloy (AM60), Mines Gerais, 2012
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013612000970>, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.

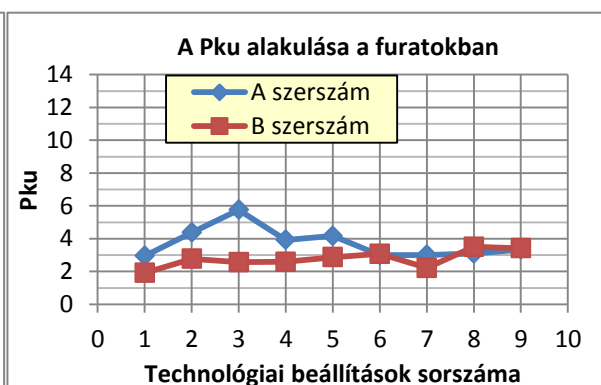
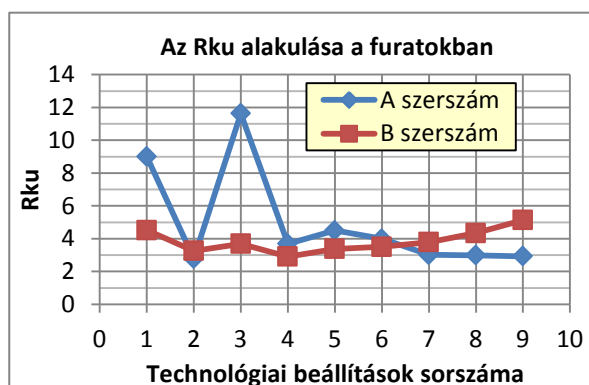
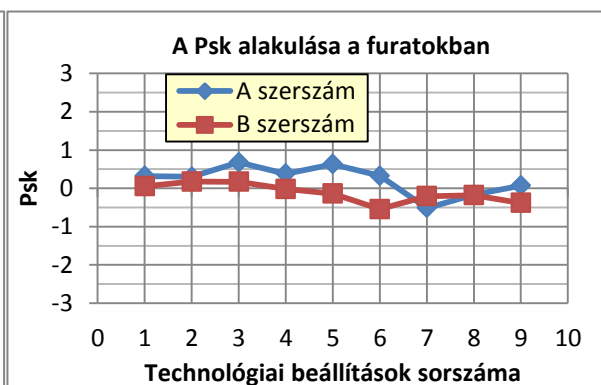
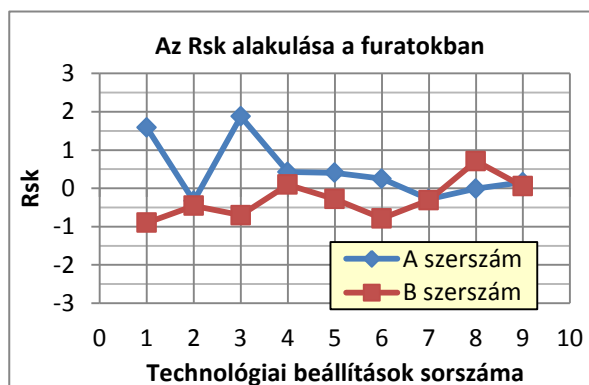
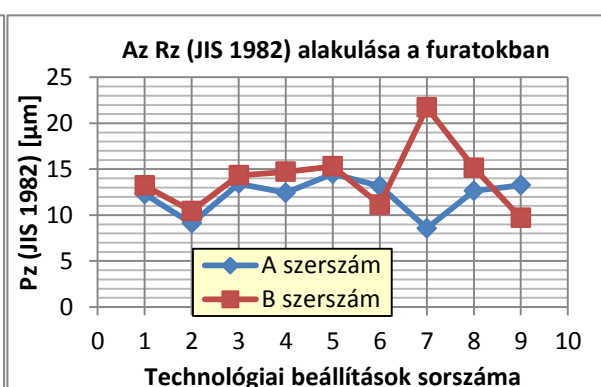
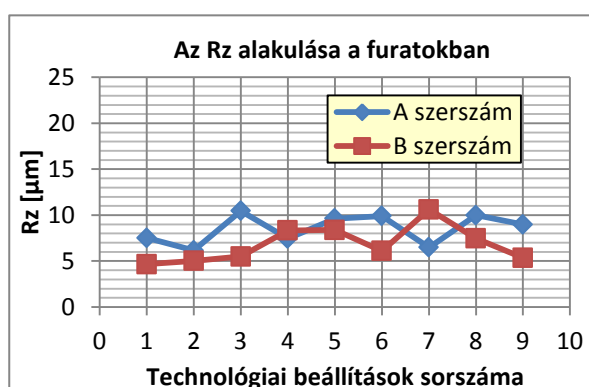
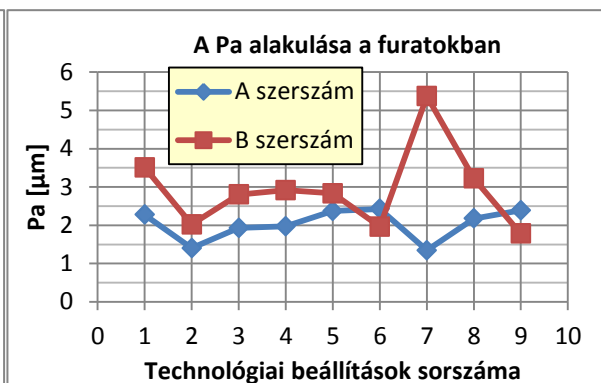
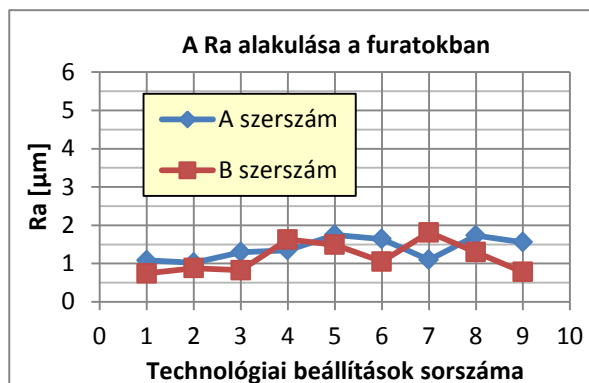
- [12] Stéphan – Mathurin – Guilott: Experimental study of forming and tightening processes with thread forming screws, University of Toulouse, Toulouse, 2011,
http://ac.els-cdn.com/S0924013611003190/1-s2.0-S0924013611003190-main.pdf?_tid=34b17070-26b6-11e2-9baf-00000aab0f01&acdnat=1352057659_2b25358d8dc17738b03183f35521a876, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [13] <http://www.forgacsolaskutatas.hu/elmelet/forgacsolhatosag>, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [14] Komócsin, M.: Gépipari anyagismeret, (harmadik átdolgozott kiadás), COKOM Kft., Miskolc, 2001
- [15] Sandvik tudástár,
http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_m_stainless_steel/pages/default.aspx, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [16] <http://www.westyorkssteel.com/1-2311.html>, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [17] <http://www.bohler-bleche.com/english/files/downloads/A700DE.pdf>, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [18] Sipos Sándor: Fúrás, Forgácsolástechnológia és Szerszámai előadás anyag
- [19] Palásti – Sipos – Czifra: “ $R_z = 4 \cdot R_a$ ” és egyéb érdességi értelmezések a forgácsolt felületek értékelésében,
http://www.forgacsolaskutatas.hu/innovacio/Rz_4_Ra_es_egyeb_erdességi_ertelmezések_a_forgacsolt_feluletek_ertekeleseben, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [20] Herring – Mardel – Fox: The effect of material selection and manufacturing process on the surface finish of carbon fibre composites, Geelong, 2010,
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013610000385>, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.
- [21] Új REGO-FIX mentfúró-befogók, Műszaki Magazin 2008/10,
http://www.protoolkft.hu/rego-fix/images/szerszambefogas_sajto/1_menetfuro_befogok.pdf, a weboldal 2012.10.04-én elérhető volt.

1. melléklet: Fúrás közben fellépő nyomaték és előtolás irányú erő értékek

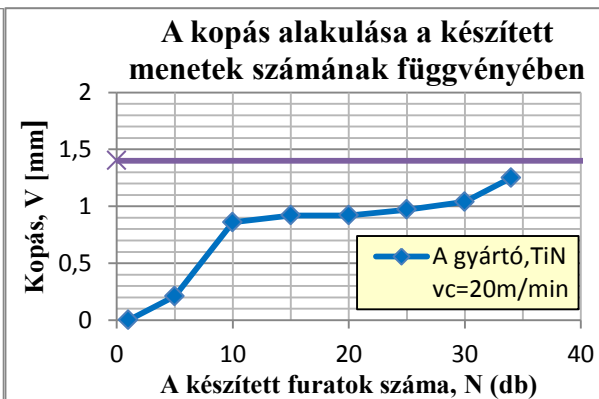
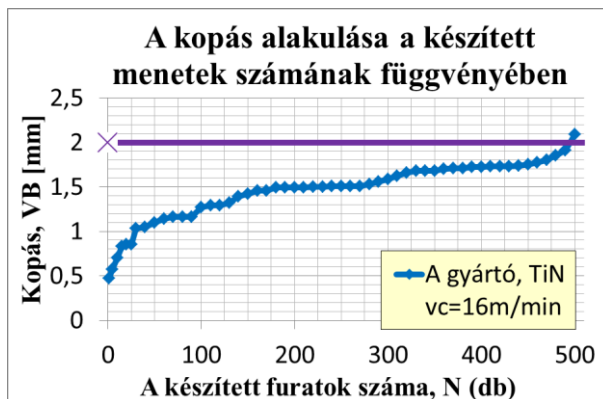
Szerszámgép										
Típus		Megnevezés			Vezérlés		P _{mot} [kW]		Egyéb	
Mazak Nexus 410A		CNC megmunkálóközpont			Mazatrol		12		n=12000 [1/min]	
Munkadarab										
Anyagjel		Állapot		Jellemzők		Méretek		Egyéb		
Ko36 (1.4145)		normalizált		HB 180 -185		148 x 148 x 35		fűrőlap		
„A” Szerszám										
Mérési eredmények										
S.	Adatok			Nyomaték, M _c , Nm / Előtolóerő, F _f , N						Forgács, videó
sz.	l [mm]	f [mm]	v _f	M _{cmin}	M _{cátl}	M _{cmax}	F _{fmin}	F _{fátl}	F _{fmax}	
1.	10	0,10	200	3,7	4,2	5,5	811	1150	1400	
2.	10	0,12	240	4,1	4,7	5,6	909	1229	1472	
3.	10	0,14	280	4,6	5,3	6,2	1010	1344	1674	
4.	15	0,08	160	3,1	3,5	4,4	595	924	1100	
5.	15	0,10	200	3,6	4,2	5,3	736	1056	1311	
6.	15	0,12	240	4,2	4,8	5,6	796	1184	1487	
7.	20	0,06	120	2,4	2,8	3,3	550	810	977	
8.	20	0,08	160	3,1	3,7	4,7	655	948	1072	
9.	20	0,10	200	3,7	4,3	5,6	631	1048	1241	
„B” Szerszám										
Mérési eredmények										
S.	Adatok			Nyomaték, M _c , Nm / Előtolóerő, F _f , N						Forgács, videó
sz.	l [mm]	f [mm]	v _f	M _{cmin}	M _{cátl}	M _{cmax}	F _{fmin}	F _{fátl}	F _{fmax}	
1.	10	0,10	200	3,3	4	4,8	934	1166	1370	
2.	10	0,12	240	3,8	4,4	5,2	1240	995	1389	
3.	10	0,14	280	4,3	4,9	5,7	1106	1346	1548	
4.	15	0,08	160	2,8	3,4	4,6	740	1011	14098	
5.	15	0,10	200	3,3	3,9	4,7	803	1076	1226	
6.	15	0,12	240	3,9	4,4	4,9	756	1184	1350	
7.	20	0,06	120	2,4	2,8	4	650	871	1216	
8.	20	0,08	160	2,8	3,4	4,3	688	935	1358	
9.	20	0,10	200	3,3	3,9	5	857	1101	1489	

	"A" szerszám						"A" szerszám					
Mélység	1. Furat		2. Furat		3. Furat		1. Furat		2. Furat		3. Furat	
	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]
0	0,0143	10,014	0,013	10,02	0,0085	10,014	0,0323	9,52	0,0126	9,52	0,0358	9,526
3	0,01	10,022	0,0168	10,021	0,023	10,016	0,0368	9,528	0,0309	9,523	0,0237	9,512
8	0,0096	10,028	0,0199	10,022	0,0166	10,025	0,016	9,536	0,0313	9,526	0,0155	9,524
	4. Furat		5. Furat		6. Furat		4. Furat		5. Furat		6. Furat	
	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]
0	0,0161	10,012	0,023	9,999	0,0127	10,017	0,0282	9,519	0,0406	9,517	0,0239	9,514
3	0,0176	10,022	0,0152	10,017	0,0195	10,02	0,0243	9,519	0,0239	9,513	0,0169	9,519
8	0,0169	10,021	0,0117	10,026	0,0235	10,022	0,0131	9,53	0,0175	9,522	0,0208	9,525
13	0,009	10,028	0,0139	10,027	0,0101	10,028	0,0127	9,539	0,0148	9,536	0,0234	9,53
	7. Furat		8. Furat		9. Furat		7. Furat		8. Furat		9. Furat	
	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]	Köralak hiba, Δ [mm]	Átmérő, D [mm]
0	0,0136	10,011	0,0255	10,014	0,0159	10,016	0,0145	9,571	0,0171	9,564	0,021	9,514
3	0,0108	10,016	0,0161	10,014	0,0279	10,019	0,0281	9,516	0,0182	9,562	0,0237	9,514
8	0,0181	10,016	0,0169	10,024	0,014	10,029	0,0363	9,512	0,0331	9,515	0,0247	9,518
13	0,0089	10,022	0,0119	10,02	0,0118	10,025	0,0201	9,537	0,0098	9,526	0,0263	9,518

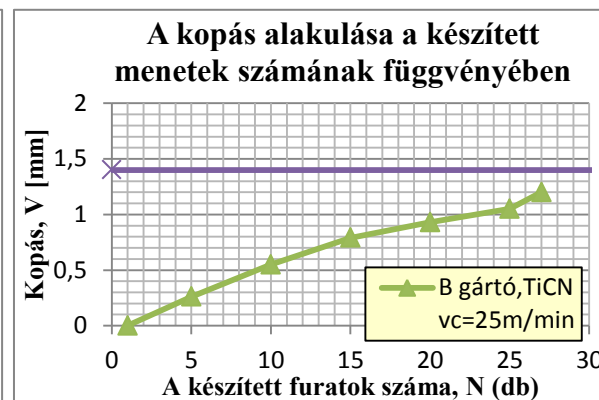
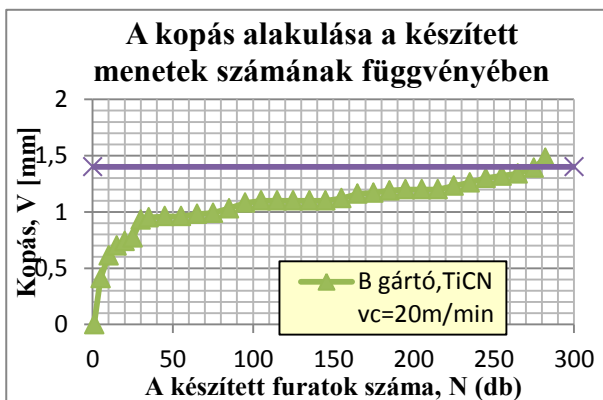
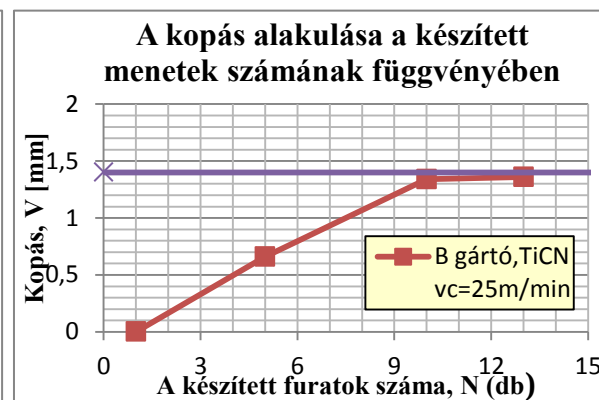
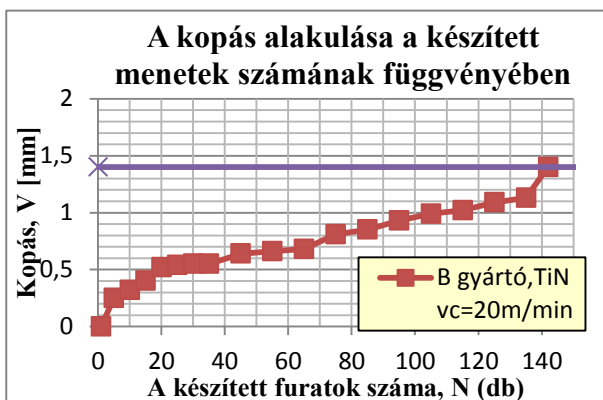
3. melléklet: Ra-Pa, Rz-Rz (JIS 1982), Rsk-Psk és Rku-Pku értékek alakulása



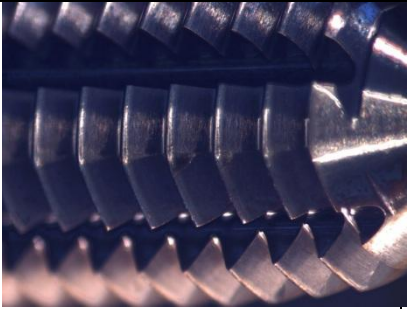
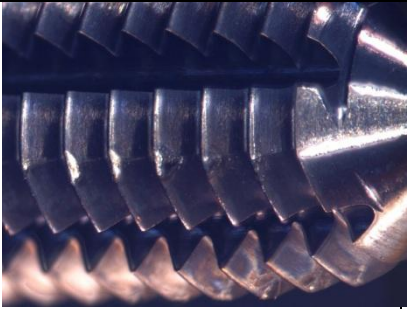
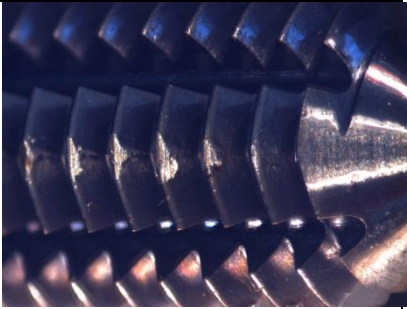
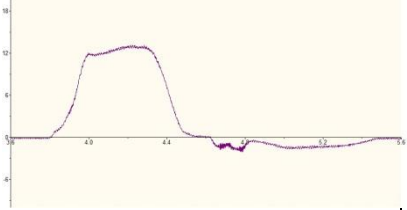
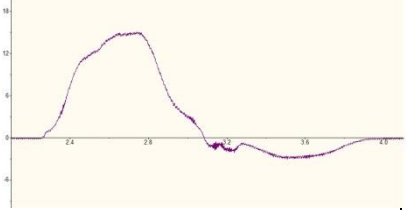
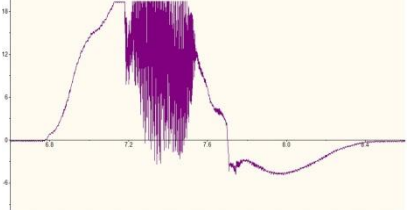
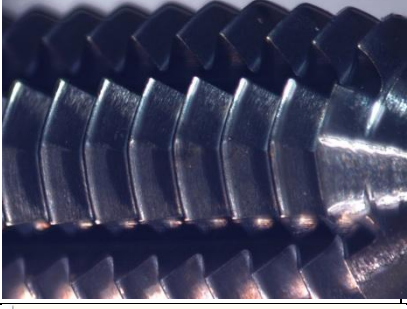
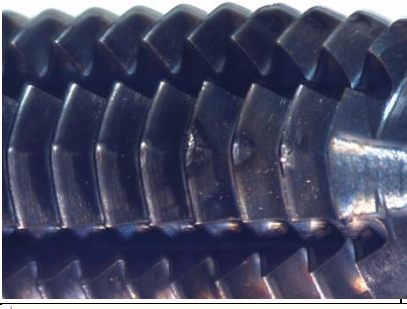
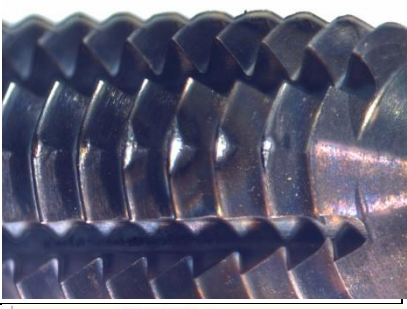
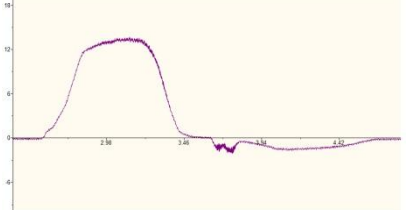
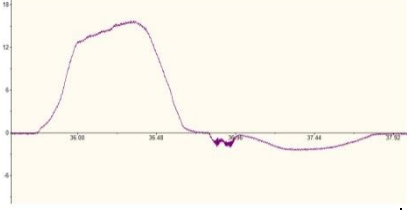
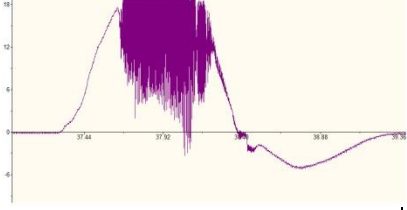
4. melléklet: A kopás alakulása az egyes menetformázó szerszámokon

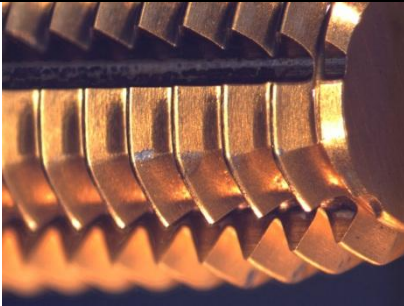
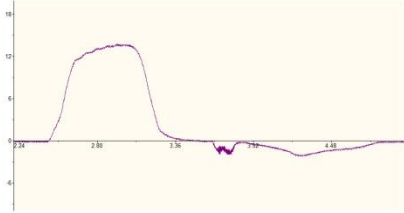
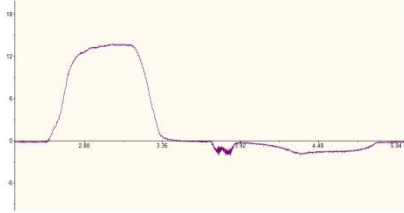
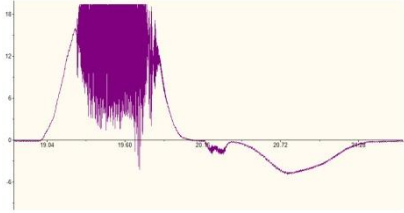
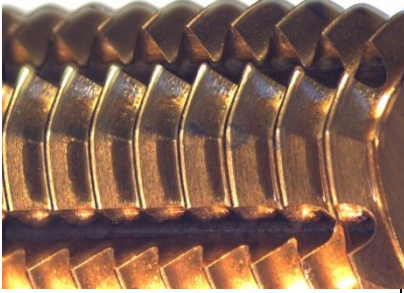
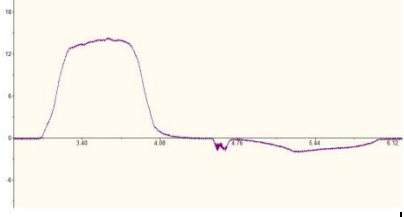
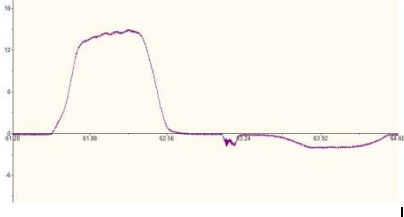
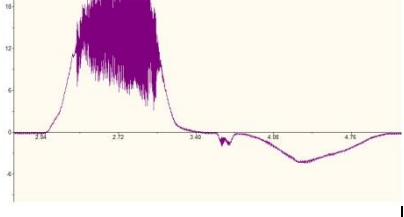


„A” gyártó TiN bevonatú formázója 25 m/min forgácsolósebességen 1 db menetet volt képes előállítani, $V_K=1,83$ mm kopás mellett



5. melléklet: A kopások és a nyomaték összefüggése az egyes szerszámokon

"B" szerszám, TiCN bevonattal, $v_c=25\text{m/min}$		
1. menet	15. menet	27. menet
		
		
$M_{\max}$ 13 Nm	$M_{\max}$ 15 Nm	$M_{\max}$ 20 Nm
M_{rev} -2,1 Nm	M_{rev} -3,1 Nm	M_{rev} -4,9 Nm
"B" szerszám, TiCN bevonattal, $v_c=20\text{m/min}$		
1. menet	145. menet	282. menet
		
		
$M_{\max}$ 13,7 Nm	$M_{\max}$ 15,7 Nm	$M_{\max}$ 20 Nm
M_{rev} -2,1 Nm	M_{rev} -2,4 Nm	M_{rev} -5,2 Nm

”A” szerszám, TiN bevonattal, $v_c=20\text{m/min}$		
1. menet	15. menet	34. menet
		
		
$M_{\max}$ 13,7 Nm	$M_{\max}$ 13,8 Nm	$M_{\max}$ 20 Nm
M_{rev} -2,2 Nm	M_{rev} -2,1 Nm	M_{rev} -4,9 Nm
”A” szerszám, TiN bevonattal, $v_c=16\text{m/min}$		
1. menet	250. menet	500. menet
		
		
$M_{\max}$ 14,3 Nm	$M_{\max}$ 15 Nm	$M_{\max}$ 20 Nm
M_{rev} -2,1 Nm	M_{rev} -2,2 Nm	M_{rev} -4,5 Nm