



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR, GYÁRTÁSTUDOMÁNY ÉS -TECHNOLÓGIA
TANSZÉK

Porkohászati szinterelt acélok megmunkálhatóságának vizsgálata

Tudományos diákköri dolgozat

2011 - Október - 28



Készítette: Czampa Miklós

MI2WQX

.....

Konzulensek: Dr. Markos Sándor

Farkas Balázs Zsolt

Tartalomjegyzék

1. A feladat leírása	- 3 -
2. A porkohászati technológia bemutatása	- 3 -
3. Miért kell utólag megmunkálni?	- 4 -
4. Vizsgált anyagminőségek	- 5 -
5. Az elvégzett feladatok	- 6 -
5.1 A próbadarabok legyártása	- 6 -
5.2 Keménységmérés.....	- 7 -
5.3 Forgácsolási vizsgálatok.....	- 10 -
5.4 Karcolási próba.....	- 14 -
5.4 Karcolási próba.....	- 15 -
6. A mérési eredmények kiértékelése	- 16 -
6. A mérési eredmények kiértékelése	- 17 -
6.1 Hosszsztergálási kísérletek kiértékelése	- 17 -
6.2 Karcolási próba kiértékelése	- 24 -
7. Összefoglalás	- 29 -
8. Irodalomjegyzék	- 29 -
9. Mellékletek	- 29 -

1. A feladat leírása

Dolgozatomban porkohászati szinterelt acélalkatrészek megmunkálhatóságával foglalkozom. A megmunkálhatóság részét képező forgácsolási vizsgálatokat végeztem el, amely során különféle porkohászati anyagok minősítését végeztem el. Forgácsolási vizsgálatként hosszesztergálási kísérleteket és karcoldási próbát alkalmaztam. Mértem az esztergáláskor a szerszámra ható erőkomponenseket: a passzív , az előtoló és a főforgácsoló erőt, amiből következtetéseket kellett levonnom az anyagok megmunkálhatóságára vonatkozóan. Abszolút forgácsolási paramétereket számoltam ki, melyek alapján nemzetközi irodalmakban megfogalmazott indexelt forgácsolási paramétereket is kiszámoltam. Ezen méréseken és eredményeiken alapulva egy olyan, viszonylag egyszerű megmunkálhatósági tesztet dolgoztam ki, aminek segítségével egy tetszőleges porkohászati alkatrészről egyszerűen eldönthető, hogy milyen jól lehet megmunkálni egy választott bázisanyaghoz képest.

Feladatom elvégzésében segítségemre voltak konzulenseim, a Gyártástudomány és -technológia Tanszékről Dr. Markos Sándor, és Farkas Balázs Zsolt. A kísérletekhez szükséges próbatesteket a porkohászati termékek gyártásával foglalkozó Carbosint Kft., a forgácsolási kísérletekhez használt váltólapkákat pedig a Sandvik Coromant Magyarország biztosította.

Feladatom elvégzése során személyesen részt vettem a próbatestek legyártásában a Carbosint Kft.-nél, valamint a kísérletek elvégzésében a tanszéken, továbbá az eredmények kiértékelésében.

2. A porkohászati technológia bemutatása

Porkohászatnak nevezik azt az eljárást, amely során fél, vagy készterméket közvetlenül fémporokból állítanak elő. A porkohászati technológia a megfelelő receptek alapján összekevert fémporok préseléséből, és az így nyert „Green”-állapotú darabok hőkezeléséből, más szóval zsugorításából áll.

A zsugorítást a keverék főösszetevőjének olvadási pontjánál alacsonyabb hőmérsékleten végzik. A legtöbb fémnél ez az olvadási pont 2/3-3/4-ed részét jelenti, bár néhány esetben a legalacsonyabb hőmérsékleten olvadó összetevő olvadási pontjánál alacsonyabb hőmérsékletet jelent.

A nyers darab sajtolása acél présformákban történik. Utána következik a zsugorítás művelete, miután a darab porozitása változni fog, ami nagymértékben befolyásolja a darab mechanikai tulajdonságait.

A porozitás csökkentésére, valamint a pontos mérettartás elérése céljából néha a zsugorított darabok további hőkezelést is kapnak.

A préselés és a zsugorítás egy műveletben is elvégezhető. Ezt nevezik melegpréselésnek, amikor a porokat izzítás alatt tömörítik.

Befejező műveletként a darab pontossága igényében kalibrálás is végrehajtható. Ekkor a már zsugorított darabot újra a prészszerzők közé helyezik, és újra zömítik. Ez a művelet a darab méretpontosságát biztosítja. Kész porkohászati gyártmányok az 1. ábrán láthatók.



1.ábra. Porkohászati gyártmányok

A porkohászati eljárás előnyei:

- A technológiával olyan anyagokat lehet előállítani, melyek hagyományos módon nem készülhetnének el. Lehetőség nyílik olyan anyagok keverésére, amelyek normál ötvözéssel és más eljárásokkal nem elegyíthetők, sőt fémek és nemfémek is keverhetők egymással. Például wolfram-réz, vas-műanyag, fém-gyémánt. Porózus fémek is előállíthatók, melyek kenőanyaggal való átitatás után alkalmasak pl. önkendő csapágyaknak.
- A módszerrel egyből késztermék állítható elő, így nincs szükség utólagos forgácsolási műveletekre, vagy más egyéb utólagos megmunkálásra. Méretpontos, jó minőségű terméket lehet egyből előállítani. Az eljárással csökkenthető a darabok gyártási ideje, a fémmegmunkáló géppark mérete, a hagyományos megmunkálások során keletkező forgácsvesztés pedig elmarad.
- Ezzel az eljárással sok esetben az előírt szerkezeti és mechanikai tulajdonságok a normál eljárásoknál jobban biztosíthatók.

A porkohászati technológia alkalmazásának korlátai:

- Az eljárás viszonylag drága. Sok esetben a porok előállításához, a préseléshez és zsugorításhoz szükséges berendezések nagy tökebefektetést igényelnek, ezért a módszer csak tömegtermelésben lehet gazdaságos.
- Porkohászati úton sokféle fém és ötvözet előállítása nehézségekbe ütközik, különösen olyan fémek esetében, amelyeknél nehezen redukálható oxidok keletkeznek, vagy pedig a zsugorítási hőmérsékletükön erősen párolognak. Pl. horgany, szilícium.
- A porkohászati darabok méretei és alakjai korlátozottak. A sajtolásnál fellépő nehézségek ellenére azonban a legyártható darabok köre egyre bővül. Bár egyelőre kerülni kell a túlzottan bonyolult alakzatok előállítását.
- A nyers darab zsugorításának redukáló, vagy védőatmoszférában –pl. hidrogén-, kell történnie, hogy a fémporok tömör fémekhez képesti nagyobb mértékű oxidálódását elkerüljék.

Ezen hátrányok ellenére a technika haladásával a porkohászati technológiával elkészült anyagok minél szélesebb körű elterjedése várható.

3. Miért kell utólag megmunkálni?

Általában a porkohászati termékeket a végső alakjukban, nagy méretpontossággal gyártják, így nincsen szükségük utólagos megmunkáló eljárásra. Bár itt is vannak kivételek. A keresztirányú furatokat, hornyokat vagy alámetszéseket nem lehet a hagyományos porkohászati eljárással elkészíteni, hanem ezeket utólag kell belemunkálni a darabba. Bizonyos esetekben, pl. egy forgásszimmetrikus, többlépcsős alkatrész esetében gazdaságosabb utólag kiesztorgálni a szigeteket, minthogy nagyon drága és bonyolult többrészes szerszámot készítsenek.

A vasalapú szinterelt termékek forgácsolásakor felléphetnek olyan problémák, melyekkel nem kell számolni az ugyanilyen összetételű hagyományos fémek esetében. A leggyakoribb problémák a következők:



2.ábra. Esztorgálási folyamat

- Az anyag porozitása miatt állandó a „megszakított forgácsolás”, ami nagymértékű szerszámkopást okoz.
- Az anyag porozitása miatt nem alakul ki normális forgácsalak. A keletkező forgács szinte azonnal szétesik kis részekre, mely főként fúráskor és menetvágáskor könnyen eltömítheti a forgácsolókat.
- A hűtő-kenő folyadék megtölti az anyag pórusait, ezért a darabot teljesen meg kell tisztítani a megmunkálás után. Tilos hűtéskenést alkalmazni akkor, ha megmunkálás után a darabot olajjal fogják átítani, mert rontaná az olaj impregnáció hatásosságát. Ha a darab a megmunkálás előtt már át van itatva olajjal, akkor a hűtőkenő anyagok csak szennyeznék a pórusokban levő olajat, ezért használatukat ebben az esetben kerülni kell. Ha forgácsoláskor mégis szükség lenne hűtésre, egyedül a nagynyomású levegővel történő hűtés kerülhet szóba. [3]
- Az olyan műveletek, mint a dörzsárazás, köszörülés, hónolás és leppelés hajlamosak eltömni a felszíni pórusokat. Ezért az ilyen műveletek után annyira ki kell tisztítani a pórusokat, amennyire csak lehetséges.

Mivel a porkohászat nagy méretpontosságú szerkezeti elemeket állít elő, így egyáltalán nincs szükség, vagy csak nagyon kevés szükség van utólagos megmunkálásra. Pl. 2. ábra. Ezért törekedni kell arra, hogy olyan anyagokat válasszunk alapanyagul, melyek segítségével optimális fizikai tulajdonságokat tudunk elérni. Ezért az alapanyag megmunkálhatóságával kapcsolatos meghatározások csak másodlagos szerepet játszanak.

Szemben a hagyományos anyagokkal, a szinterelt darabok tulajdonságai nem csak a kémiai összetételüktől, és utólagos hőkezelésüktől függenek, hanem az olyan plusz környezeti feltételektől is, mint pl. a szinterelési feltételek, és a sajtolási sűrűség (vagy porózusság). Ezért a potenciálisan elérhető szinterelt anyagok sokfélesége miatt ezen kombinált hatások következtében a forgácsolhatóság bonyolult jellemzőként definiálható.

A tudomány mai álláspontja szerint nagyon nehéz általánosan alkalmazható számszerű formulákat készíteni a szinterelt termékek megmunkálhatóságáról. Emellett a forgácsolhatóság fogalmának meghatározása is ellentmondásokat tartalmaz.

4. Vizsgált anyagminőségek

3 fő anyagcsoport került vizsgálatra, melyek összetétele az alábbiak szerint változik:

- Az első a svéd Höganäs vállalat **Distaloy AE** (megfelel DIN 39-nek) elnevezésű porkeveréke. Ez a keverék alapesetben 0,5 % szénből, 1-3 % rézből, 0,8 % molibdénből, 1 - 5 % nikkelből és maradék részben vasból áll. Ehhez MnS lesz hozzáadva a forgácsolhatósági tulajdonságok javítására, továbbá a sajtolás könnyítése végett egy speciális, Kenolube-elnevezésű súrlódáscsökkentő adalékot is tartalmaz majd.
- A második esetben szintén a Höganäs vállalat **NC 100.24** jelölésű porkohászati acélpor keverékét vizsgáljuk. Ez megfelel a DIN C11 és D11 jelölésű összetételnek. A keverék alapesetben 0,4 % szenet, 1-5 % -ban rezet, maradékrészben pedig vasat tartalmaz. Ehhez még min. 0,4 % cink-sztearátot kevernek a súrlódáscsökkentés végett. Az alap széntartalom meg lesz emelve 0,5; 0,8; 1; és 1,5 %-ra, valamint a réztartalom is változni fog a széntartalom megváltozásokon belül 2; 4; és 8 %-ban.
- Harmadik esetben a Höganäs vállalat **410.L**-jelű, rozsdamentes acélpóra kerül vizsgálatra. Ebben az esetben a keménység növelése lesz a feladat. Az anyagösszetétel itt úgy változik, hogy az acélporhoz először 2, majd 4 % rezet kevernek. Ez a keverék hozzáadott szenet nem fog tartalmazni, mert csökkenne az anyag rozsdamentessége.

5. Az elvégzett feladatok

Ebben a fejezetben a megmunkálási vizsgálatok kiértékeléséhez szükséges feladatokat, mérőberendezéseket és felhasznált segédeszközöket mutatom be.

5.1 A próbadarabok legyártása

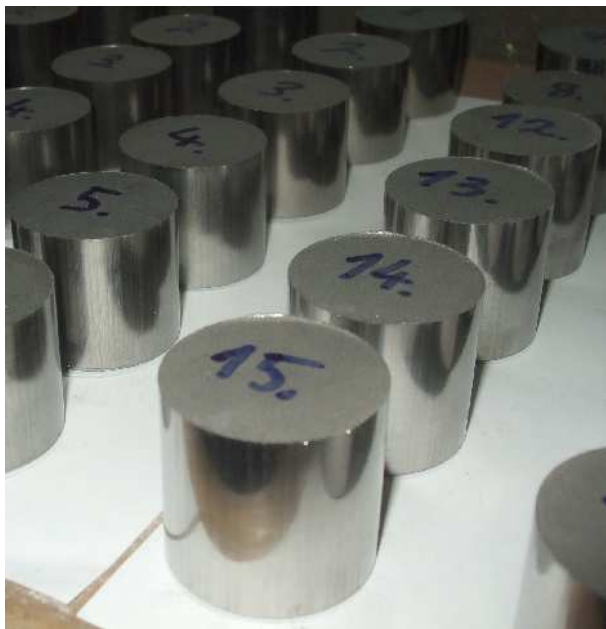
Első lépésként a 4. fejezetben bemutatott porkeverékekből le kellett gyártanom a szükséges mennyiségű próbatestet a forgácsolási kísérletekhez. Ebben a Carbosint Kft. volt segítségemre.

Az előre összekevert porkeverékekből kézzel mértem ki a szükséges mennyiséget, amit szintén kézzel töltöttem be a sajtológépben előkészített szerszámüregbe. Lásd 3. ábra.

A betöltött porkeveréket a sajtológép kétirányú sajtolást alkalmazva egy lépésben a kívánt méretűre tömörítette. [Ø39 x 34] Az alkalmazott sajtolónyomás 5,7 [tonna/cm²] volt. A kész darabokat kézzel távolítottuk el a szerszámüregből. Lásd 4. ábra.



3. ábra. Présgépre szerelt sajtolószerszámok



4. ábra. A sajtológépből kikerült próbatestek

Minden egyes darab sajtolásakor törekedtünk arra, hogy ugyanolyan mennyiségű por kerüljön a szerszámüregbe. Ennek ellenére voltak kis eltérések, amik a sajtoló próbatestek magasságkülönbségében mutatkoztak meg.

Mivel a sajtolás után a próbadarabok még nem rendelkeznek kellő szilárdsággal, a következő lépés a szinterelés volt. A szinterelés során a próbadarabokat egy folyamatos üzemű hőkezelő kemencében 1120°C-on, védőgáz atmoszférában ki kell égetni. Erre azért van szükség, hogy a porrészecskék közötti kapcsolat megerősödjön, és a porozitás csökkenjen. A beállított hőmérséklet általában a keverék fő összetevőjénél alacsonyabb hőmérsékletet jelent. A porszemcsék kissé megolvadnak, és összekapcsolódnak. A folyamat során a darab mechanikai tulajdonságai javulnak, viszont a geometriai tulajdonságok hagynak némi kívánnivalót maguk után.

Ennek oka, hogy a különböző összetevők eltérően hatnak a méretváltozásra. A hozzáadott szén inkább zsugorodást, míg a hozzáadott réztartalom duzzadást okoz. Ekkor egy, a szinterelési hőmérsékleten bekövetkező térfogati méretváltozásról beszélhetünk. A próbatestnek mind az átmérője, mind pedig a magassága változik összetételtől függően. Legtöbbször az átmérőben történő méretváltozás okoz gondot, mert a sajtolószerszámot adott méretre készítik el, ami a továbbiakban már csak kismértékben korrigálható. Ezzel szemben a darab magasságának beállítása



5.ábra. A szinterelt próbatestek

csak gépbeállítás kérdése. Esetünkben az átmérőben történő méretváltozás mértéke maximum 1,3 % volt, amit a forgácsolási kísérlet előkészületeinél figyelembe kellett venni. Összefoglalva tehát a hozzáadott ötvözők mennyiségének változtatásával befolyásolható a kész darab mérete, amit elsősorban szerszámtervezéskor kell figyelembe venni.

A szinterelés során előfordul, hogy a próbatestek felszíne elszíneződik, megég, vagy deformálódik. Ennek oka, hogy a szinterelő kemencében uralkodó magas hőmérsékleten a darab felületi részecskéi

jobban oxidálódnak, jobban reagálnak a védőgáz atmoszférával, mint a darab belsejében levő részecskék. Jól beállított paraméterek esetén ez a jelenség kevésbé jelentős mértékű, de figyelembe kell venni a darabok további feldolgozása során.

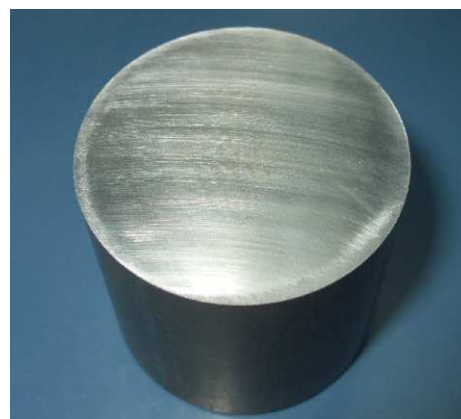
Az általam sajtolott próbatestek a folyamatos üzemű szinterelő kemencéből való kikerülés után az 5. ábrán láthatók.

5.2 Keménységmérés

A forgácsolási kísérletek kiértékeléséhez szükség volt az egyes próbadarabok HV30 keménység értékeire. A keménységmérési vizsgálatokat az Anyagtudomány és Technológia Tanszék laboratóriumában végeztem el.

Meg kell jegyezni, hogy a sajtolási eljárás miatt az egyes darabok nem rendelkeznek egyforma sűrűséggel a hosszmetsetük mentén. Ennek oka, hogy sajtoláskor a porszemcsék között, valamint a porszemcsék és a

sajtolószerszám fala között jelentős mértékű súrlódás lép fel. A külső részen levő részecskék az egyre nagyobb mértékű elmozdulás miatt jobban tömörödnék és jobban súrlódnak, „felemésztve” ezzel a sajtolóerő jelentős részét. Így a darab közepén levő részecskékre kisebb sajtolóerő jut. Ezért van az, hogy a sajtolott munkadarabok két vége tömörebb, míg a középső részük ritkább. Ugyan ez a sűrűség eltérés nem jelentős mértékű, de érdemes figyelembe venni. Ebből következik, hogy a próbatestek hosszmetsete mentén pontról pontra változik a keménység értéke. A vizsgálatainknál nem voltunk kíváncsiak a keménység eloszlására, hanem egy átlagos, adott anyagra vonatkozó értékre volt szükségünk. Ezért választottuk a HV30 vizsgálatot.



6.ábra. A keménységméréshez előkészített próbatest



**7.ábra. KB
Prüftechnik DKD-K
keménységmérő gép**

Mivel a szinterelés során a próbatestek felszíne kissé elszíneződik, az egyes darabokon olyan sima, csiszolt felületet kellett kialakítani, ami már alkalmas volt a keménységmérés kiértékelésére. Lásd 6.ábra. A csiszolatokat a tanszék metallográfiai laboratóriumában készítettem el különböző finomságú csiszolókorongok segítségével.

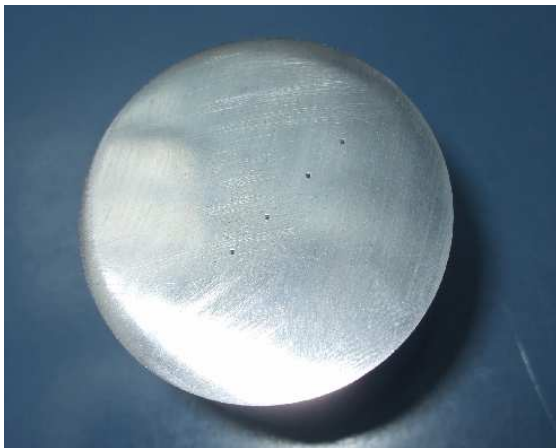
A méréseket a tanszéken található KB Prüftechnik DKD-K-02801 típusú keménységmérő géppel végeztem el, ami a 7. ábrán látható.

A keménységmérő gép asztalára egy kézi satut szereltünk fel, amibe már egyszerűen be lehetett fogni az előkészített próbatesteket, amint azt a 8. ábra is mutatja.

**8.ábra. Próbatest befogása
keménységméréshez**



A mérés a berendezés beállítása után automatikusan történt, a mért eredményt pedig a kijelzőről kellett leolvasni. Minden darabon 4 alkalommal mértem keménységet egymástól 5 [mm] távolságra, majd a kapott eredményeket átlagoltam. A mérési eredmények táblázatában már ezek az átlagértékek szerepelnek.



**9.ábra. Próbatest
keménységmérés után**

A 9. ábrán jól megfigyelhetők a Vickers keménységmérés jellegzetes lenyomatai. Egy ilyen lenyomat nagyítva a 10. ábrán látható. A nem előkészített darabokkal együtt ezeket a darabokat is felhasználtuk a forgácsolási kísérletekhez.

A próbatestek szinterelést követő méretváltozását, valamint a mért keménységi értékeket az 1. táblázat tartalmazza.

**10.ábra. Vickers-keménységmérési
lenyomat a próbatest felszínén**



Az 1. táblázattal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a rozsdamentes porkeverékek esetében (9, 10, 11-es minták) nem tudtunk sűrűséget számolni, mert a próbatestek hosszesztergálási kísérletét megelőzően nem mértük le a tömegüket.

1. Táblázat: A próbatestek méretváltozása, és a mért keménységi értékek

Minta sorszáma	Anyagminőség	Szinterelés előtti átmérő [mm]	Szinterelés utáni átmérő [mm]	Térfogati zsugorodás [%]	Keménység [HV30]	Sűrűség [g/cm3]
1	NC100.24 + 0.5% C+ 2% Cu	39,23	39,30	0,352	72,60	6,633
2	NC100.24 + 0.5% C+ 4% Cu	39,22	39,40	0,518	110,50	6,573
3	NC100.24 + 0.5% C+ 8% Cu	39,21	39,50	2,071	111,30	6,585
4	NC100.24 + 0.2% C+ 2% Cu	39,21	39,30	0,502	80,00	6,645
5	NC100.24 + 0.8% C+ 2% Cu	39,18	39,35	1,054	85,00	6,579
6	NC100.24 + 1% C+ 2% Cu	39,20	39,33	1,825	83,45	6,579
7	NC100.24 + 1.5% C+ 2% Cu	39,23	39,37	0,794	91,50	6,497
8	Distaloy +0.5% C	39,19	39,20	-0,122	206,00	6,844
9	410 L	39,17	37,55	-11,712	125,50	0,000
10	410 L+ 2% Cu	39,17	38,41	-5,765	135,50	0,000
11	410 L+ 4% Cu	39,19	38,68	-6,712	131,50	0,000
12	NC100.24 originál	39,18	39,19	-0,378	61,90	6,736
13	PMX originál	39,20	39,20	-0,271	52,23	6,898
14	C45	-	-	-	180,00	7,800

5.3 Forgácsolási vizsgálatok

A megmunkálhatóság nem egy univerzálisan megfogalmazott tulajdonság. A szó képességet jelent, annak a képességét hogy a munkadarab anyaga megmunkálható, azaz milyen könnyen vagy nehezen lehet neki alakot adni egy forgácsoló szerszámmal.

Másik szempont szerint a megmunkálhatóság azt is jelenti, hogy egy anyaggal milyen könnyen/nehezen lehet dolgozni egy választott bázis anyaghoz képest. A megmunkálhatóságot 3 fő szempont osztályozhatjuk:

1. Szerszám élettartam.
2. Felületi érdesség.
3. Szükséges forgácsoló teljesítmény.

Az irodalmakban olvasható, hogy más-más országok kutatói másként vélekednek a megmunkálhatóságról, és másfajta forgácsolási jellemzőkkel próbálják meg leírni azt. Az amerikaiak az E [Ws/mm^3], az 1 [mm^3] forgács egységnyi idő alatt történő leválasztásához szükséges energia mennyiségével próbálják meg jellemezni. Bali János a k_c [N/mm^2], a fajlagos forgácsolási energia nagyságával próbálja meg kapcsolatba hozni. Mások pedig a C_v , az egy perces szerszámélettartamhoz tartozó vágósebességgel próbálják meg jellemezni. Innen is látszik, hogy ezen a területen napjainkban még mennyire nincs megegyezés tudományos körökben.

Annak érdekében, hogy forgácsolási paramétereket tudjunk megadni porkohászati anyagokhoz, ezt a 3 szempontot kell jobban megvizsgálni. A mérési elrendezés miatt felületi érdességet nem tudtunk mérni, így a másik két szempontra koncentráltunk.

A forgácsolási kísérleteket a Gyártástudomány és –technológia Tanszék ultraprecíziós laboratóriumában végeztem el Farkas Balázs segítségével.

Mivel a porkohászati úton előállított alkatrészek legtöbbször forgásszimmetrikusak, és valamilyen ehhez kötődő utólagos megmunkálást igényelnek – pl. alámetszés elkészítése, menetvágás – a forgácsolási vizsgálatainkat esztergálási műveletekre korlátoztuk. Kizárólag száraz megmunkálást alkalmaztunk, mert az anyag pórusaiban maradó hűtőkenő-folyadék jelentős mértékű korróziót indított volna el, és eltömte volna az anyag felületi pórusait. Ugyanezt javasolta az általam felhasznált irodalom [3] is.

Első lépésben hosszesztergálási kísérleteket végeztünk el a tanszék Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC nagypontosságú esztergagépén. (11.ábra.) Az esztergagépre egy Kistler 9752 A típusú 3 komponenses erőmérő volt felszerelve, (12.ábra.) aminek a tetejére egy speciális konzol segítségével fogtuk fel az esztergakést. Az erőmérő egy Kistler 5019 típusú erősítőhöz volt kötve, ami a regisztrált értékeket egy laptop-hoz továbbította. Az adatgyűjtő szoftver egy erre a célra írt LabView alkalmazás volt, a mintavételi frekvenciát pedig 1000 [Hz]-re állítottuk be.



11.ábra. Hembrug nagypontosságú eszterga



12.ábra. Kistler erőmérő

A nagy pontosságú esztergagép hidraulikus tokmánnal volt felszerelve, ami a tokmánpofákat csak 2 [mm]-es úton tudta mozgatni. Emiatt külön tokmánpofát kellett esztergálni, amibe be tudtuk fogni a próbatesteket. Tekintve, hogy az egyes próbadarabok átmérői az eltérő összetétel miatt eltérő mértékben változtak meg a szinterelés közben fellépő zsugorodás hatására, (lásd 1. táblázat) minden egyes darabot [Ø39]-re fel kellett esztergálni. Ha ezt nem tettük volna meg, akkor az átmérőváltozás következtében változott volna a tokmány által kifejtett szorítóerő, ami balesethez vezethetett volna. A felesztergált tokmánpofákat, és az előkészített próbatestet a 14. ábra mutatja.

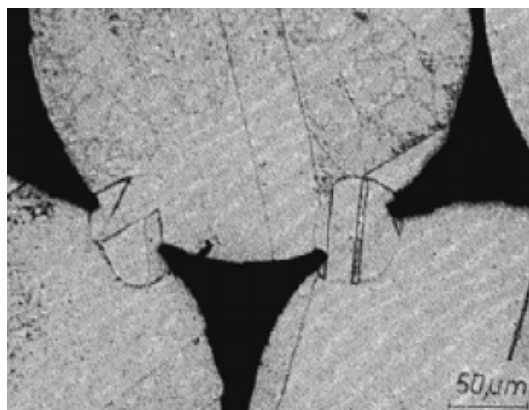
A szinterezendő porszemcsék közti tér alakjának változása miatt a szinterezési folyamat két állapotban halad keresztül:

- Egy korai szakaszon, ahol helyi kötések alakulnak ki (nyakképződés, lásd 13. ábra) és
- egy késői szakaszon, amikor a pórusok zsugorodnak és kör alakúvá válnak.

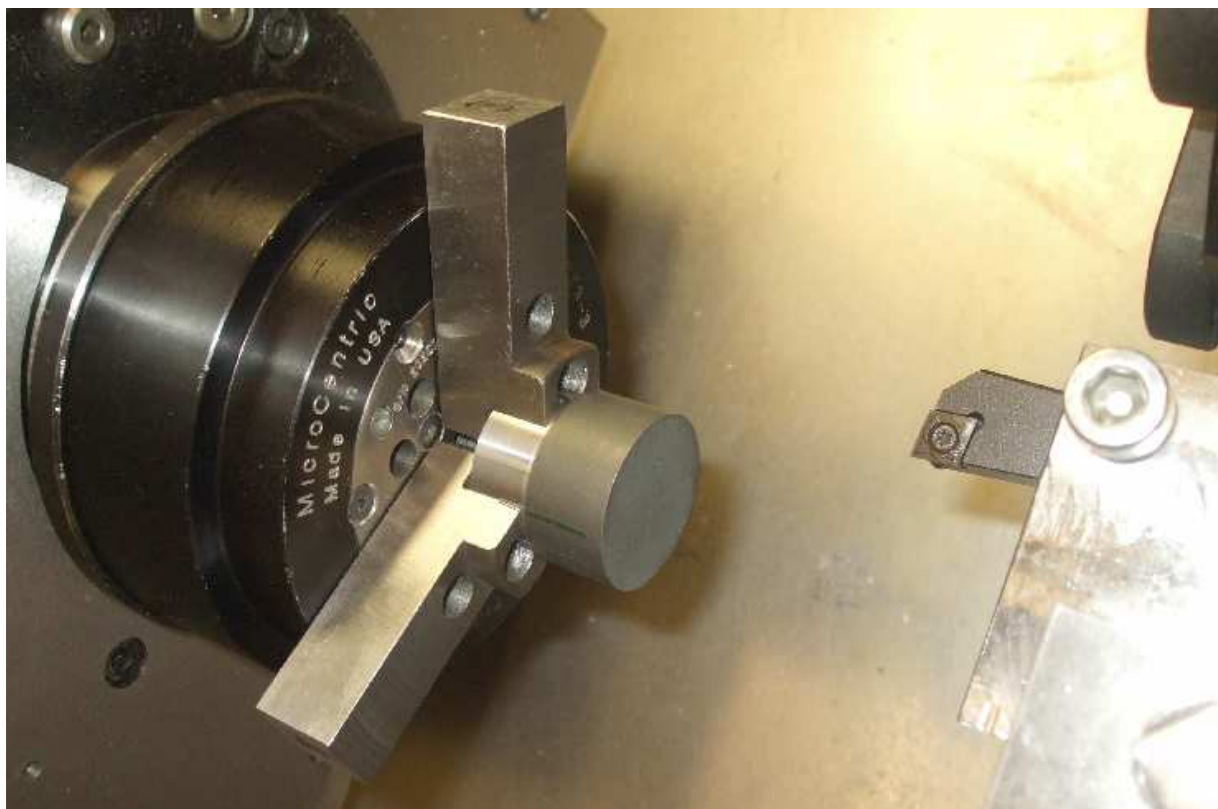
A korai szakaszban a szomszédos szemcsék távolsága, a késői fázisban pedig a teljes pórusmennyiség csökken. A szinterezési jelenség mögötti hajtóerő a részecskék közti szabad felületi energia minimumra törekvése.

A porszemcsék közti kötés anyagáramlást igényel a szemcsék belsejéből oda, ahol azok kapcsolatba kerültek más szemcsékkel. A pórusok zsugorodása és kör alakúvá válása szintén anyagáramlást igényel a sűrűbb részek felől a ritkább részek felé.

A próbatestek szinterelési folyamatkor bekövetkező szilárdsági és geometriai változásait a szinterelési hőmérséklet és idő, a porszemcsék geometriai felépítése és összetétele, a préselt darab sűrűsége, valamint az alkalmazott védőgáz összetétele határozza meg. Esetünkben kizárólag az anyagösszetétel hatása dominált zsugorodáskor, mivel minden más feltételt azonos értéken tartottunk.

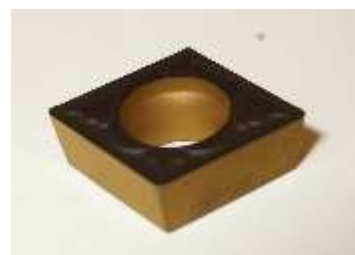


13.ábra. Nyakképződés a porszemcsék között



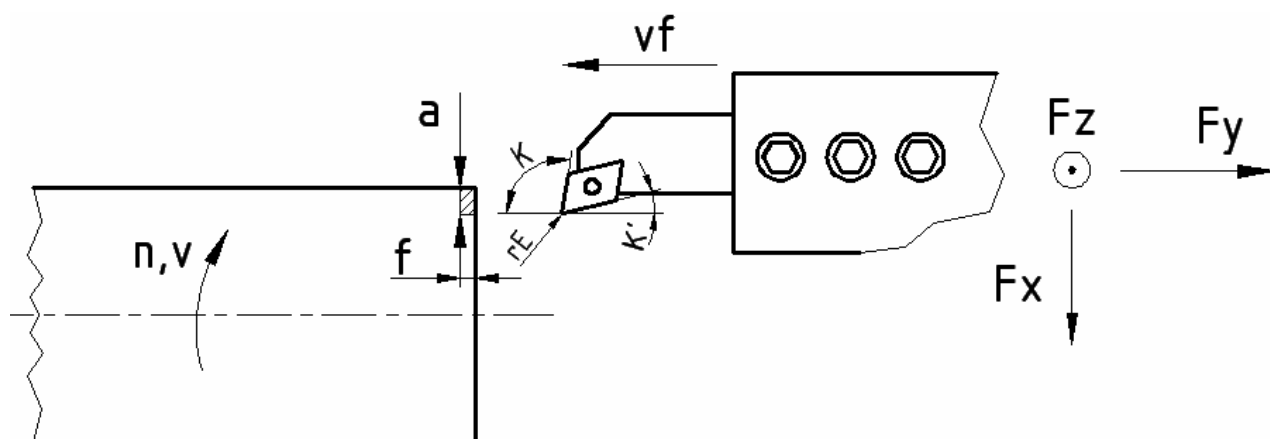
14.ábra. A felesztergált tokmánypofák és a befogott, előkészített próbatest

A hosszesztergálási kísérletekhez Sandvik Coromant CCMT09T304-PM váltólapkákat (15. ábra.) és CSLCR1616H09 jelölésű készárat használtunk. A szakirodalom porkohászati anyagok forgácsolásához kis éllekerekítést, pozitív homlokszöget és bevonatos keményfém szerszámanyagot ajánl. Ezen feltételeknek a lapkánk megfelel, mivel $r_E = 0,4$ [mm]-es csúcscsúgar, $K = 95^\circ$ -os főélelhelyezési szög és TiN bevonat jellemzi.



15.ábra. Sandvik Coromant váltólapka

A mérési elrendezés a 16.ábrán látható. Az ábrán feltüntettem a beállított forgácsolási paramétereket és a mért erőkomponenseket a könnyebb érthetőség érdekében.



16.ábra. Hosszesztergálási mérési elrendezés

A mérések során változtattuk a vágósebesség (v), az előtolás (f), valamint a fogásmélység (a) értékeit. Az erőmérő a forgácsolóerő 3 komponensét regisztrálta: a passzív erőkomponens (F_x), az előtoló erő komponens (F_y) és a főforgácsolóerő komponens (F_z).

A vizsgálatok során a vágósebesség értéke 50, 100, 150 és 200 [m/perc], az előtolás értéke 0,05; 0,1; és 0,2 [mm/ford], a fogásmélység értéke pedig 0,5; 0,8; és 1 [mm] volt. A forgácsolási hosszat pedig 15 [mm]-re állítottuk be. A kísérleti terv szerinti parametrikus mérési eredményeket a melléklet tartalmazza. (8-11.táblázat)

A mérés során vizsgálandó darab palástfelületén maradt elszíneződött réteget hosszesztergálással eltávolítottuk. Ezzel olyan összefüggő felületi réteget állítottunk elő, amin már vizsgálódni lehetett. A gép kezdő pozícióba állítása után elindítva a külön erre a célra megírt programot, az esztergagép elvégzett egy forgácsolási sorozatot. Egy sorozat azonos vágósebesség, és azonos előtolás érték mellett 3 különböző fogásvételből állt. Egy próbadarabon 12 hosszesztergálást végeztünk, majd új darab került befogásra.

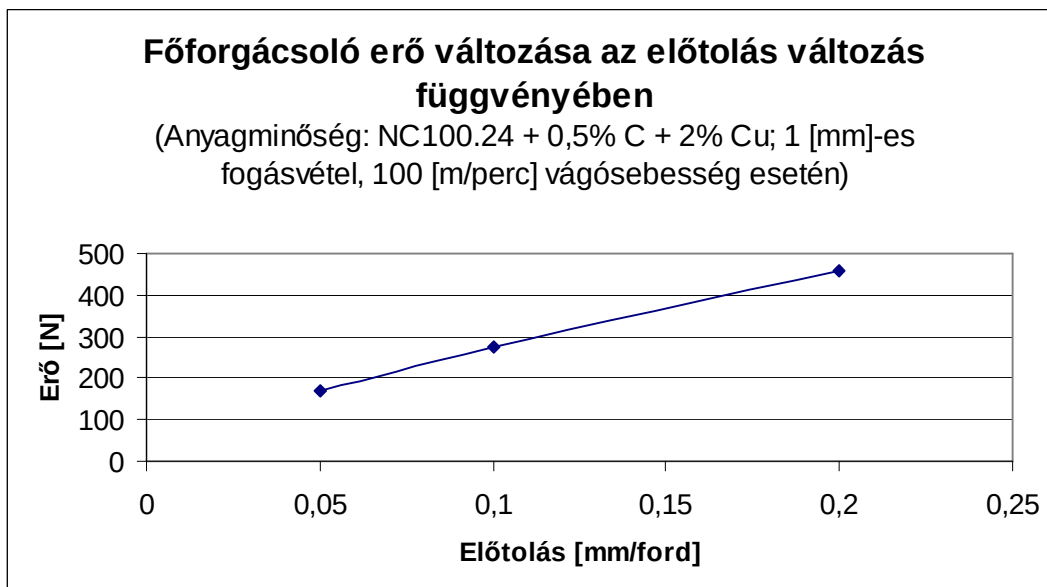
A 17. ábrán az előkészített, és a forgácsolási vizsgálat után maradt próbatest látható. Az ábrán jól megfigyelhető az eltávolított anyag mennyisége.



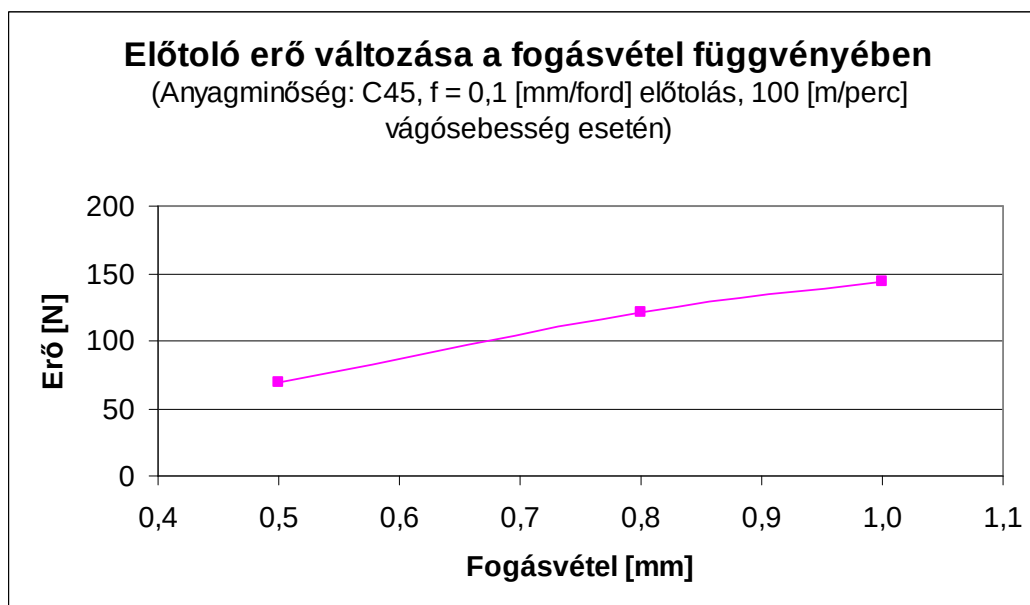
17.ábra. Az előkészített és a vizsgált próbatest

Minden egyes új darab befogásakor a váltólapka kopását is ellenőriztem. Erre azért volt szükség, mert mint ismeretes, a vágóél kopásával arányosan növekszik a forgácsolóerő értéke. Különösen a passzív erőkomponensé. Kísérleteink során ezt a hatást igyekeztünk kiküszöbölni, ezért közös megállapodás szerint 0,2 [mm]-es hátkopási érték elérésekor a vágóélet új éltre cseréltük.

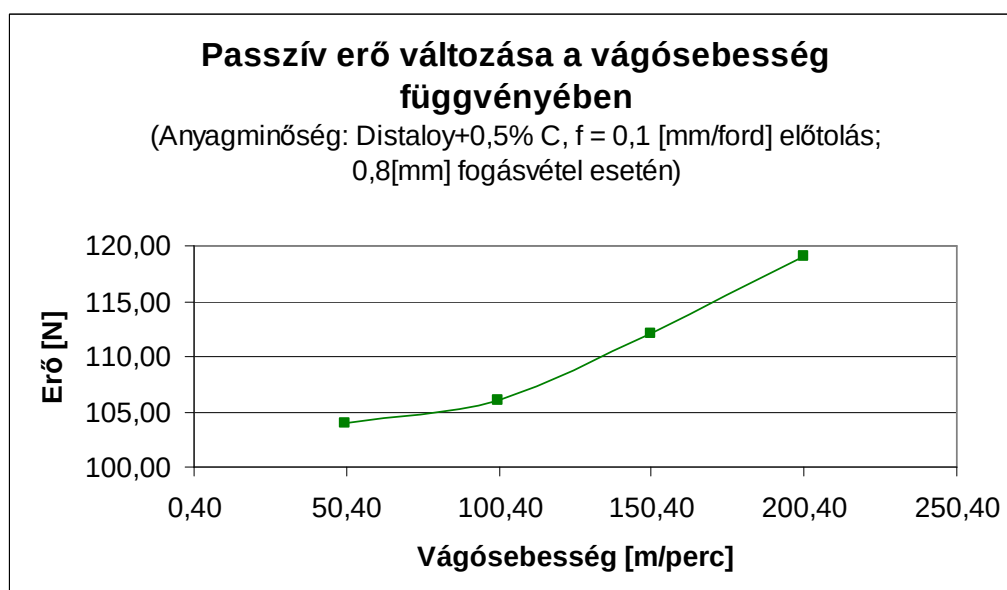
Példaként bemutatok három erődiagramot, melyeket a mért eredményekből készítettem: (18-20 ábra.)



18.ábra. A főforgácsolóerő változása az előtolás változás függvényében



19.ábra. Az előtoló erő változása a fogásvétel függvényében

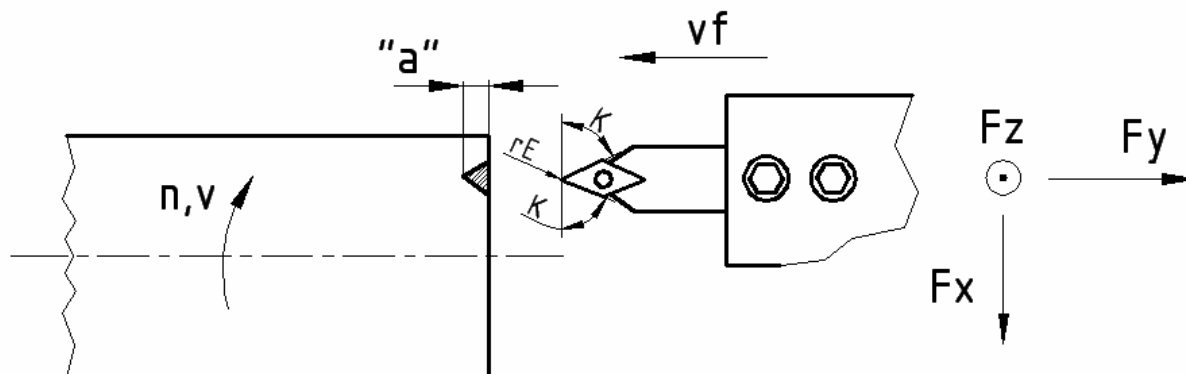


20.ábra. A passzív erő változása a vágósebesség függvényében

5.4 Karcolási próba

A hosszesztergálási kísérletek mellett kidolgoztunk egy újfajta, porkohászati anyagok megmunkálhatóságára vonatkozó tesztet is. Ezt a tesztet karcolási próbának neveztük el.

Az eljárás során egyfajta homlokbeszúrást végeztünk az előkészített próbatesteken, mérve a forgácsolóerő komponensek változását. Éltartam mérés híján ez a teszt nem ad teljes képet, de a forgácsoló ék anyagba hatolását jól modellezi. A mérési elrendezés vázlatja a 21.ábrán látható.



21.ábra. A karcolási próba mérési elrendezése

Ehhez a kísérlethez szintén a Hembrug nagy pontosságú esztergát, Kistler erőmérőt és erősítőt használtuk. Vágóélként Sandvik Coromant DCMT11T304-PM váltólapkát és SDJCR1616H11 jelölésű késszárat használtunk.

Ez a váltólapka 55° -os csúcsszöggel, $r_E = 0,4$ [mm] –es csúcssugárral rendelkezik. A K értéke itt is 95° volt, ahogy azt a 22.ábra mutatja.

22.ábra. Karcolási kísérlethez használt váltólapka

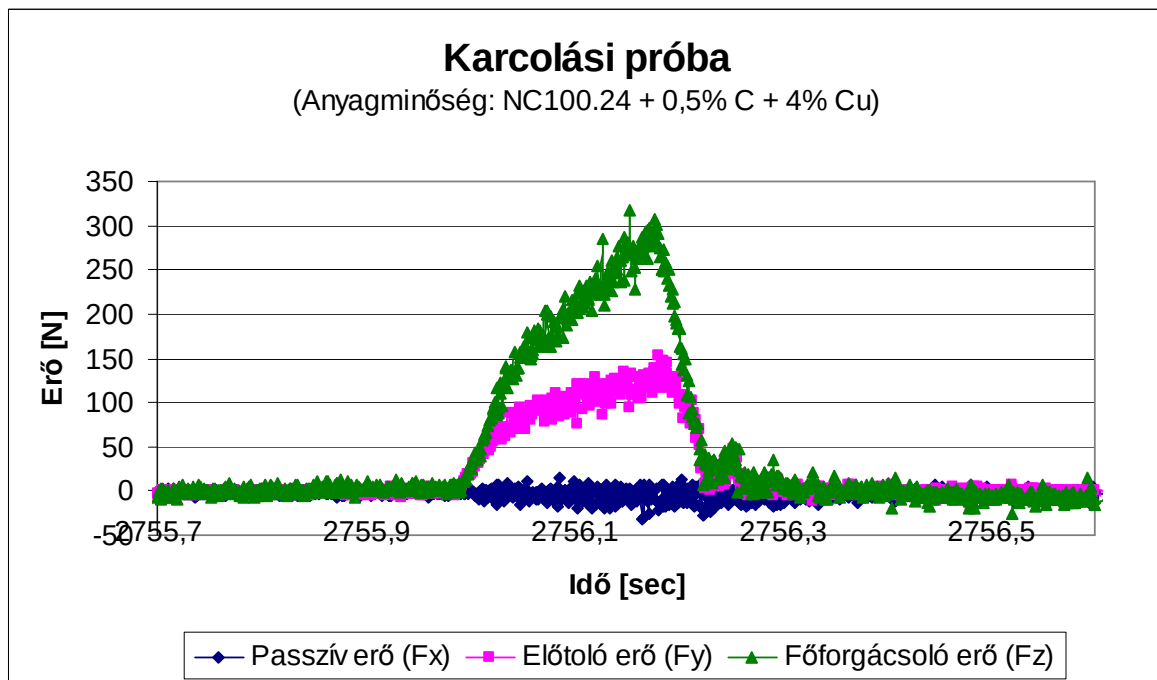


Próbatestként a hosszesztergálási kísérletekből visszamaradt darabokat használtuk, amiről eltávolítottuk a hosszesztergálási vizsgálat forgácsolási maradékát. (23.ábra.) A karcolási kísérlet mérési eredményeit a melléklet tartalmazza.

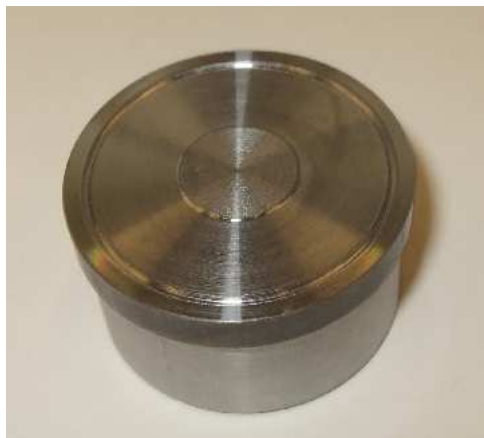


23.ábra. Karcolási kísérlethez előkészített próbatest

Ezt követően készítettünk egy mérőprogramot, ami a darab befogása és nullpontfelvétele után felesztergálja a próbatest homlokfelületét, rááll a homlokfelületre és egy egyszerű beszűrő mozgással elvégzi a mérést. A beállított paraméterek $v = 150$ [m/perc] vágósebesség, $f = 0,1$ [mm/ford] előtolás és $a = 0,5$ [mm] fogásmélység volt minden esetben. A 24. ábra egy ilyen kísérlet során rögzített spektrumot ábrázol.



24.ábra. Karcolási próba során regisztrált spektrum



**25.ábra. Próbatest
karcolási kísérlet után**

Ezen vizsgálat során is törekedtünk arra, hogy mindig friss vágóél dolgozzon, ezért 3 anyagminőség megvizsgálása után új vágóélt helyeztünk be a készárba. Ez egy viszonylag gyors és egyszerű vizsgálat, ami jól mutatja az anyag viselkedését.

A karcolási kísérleteink során is, ugyanúgy mint hosszesztergáláskor bázis anyagként C45-öt használtunk, ezt vettük alapul a mérési eredmények kiértékeléséhez. Kétféle kiértékelést végeztünk, az eredmények abszolút és indexelt kiértékelését.

A karcolási kísérlet elvégzése után a próbatest a 25.ábrán, egy kinagyított „karc” pedig a 26. ábrán látható.



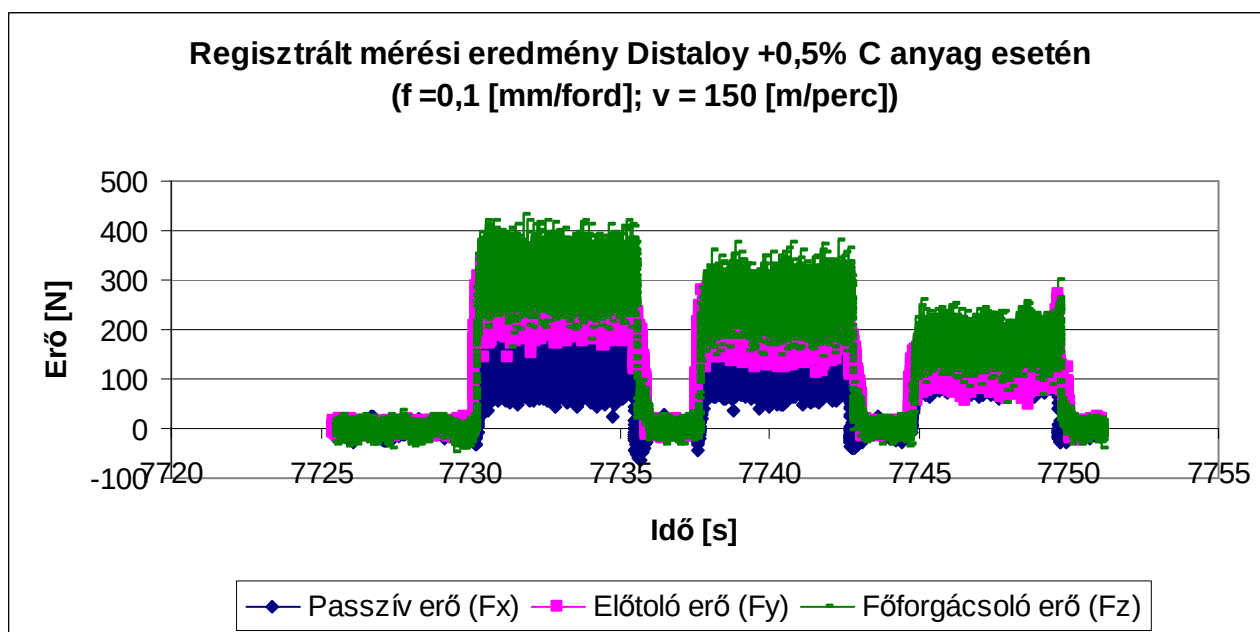
**26.ábra. Kinagyított
„karc”**

6. A mérési eredmények kiértékelése

Ebben a fejezetben a hosszesztergálási és karcolási kísérletek során mért eredményeket, és tapasztalatokat értékelem ki. Először a hosszesztergálási kísérletek, majd a karcolási kísérlet értékelését részletezem.

6.1 Hosszesztergálási kísérletek kiértékelése

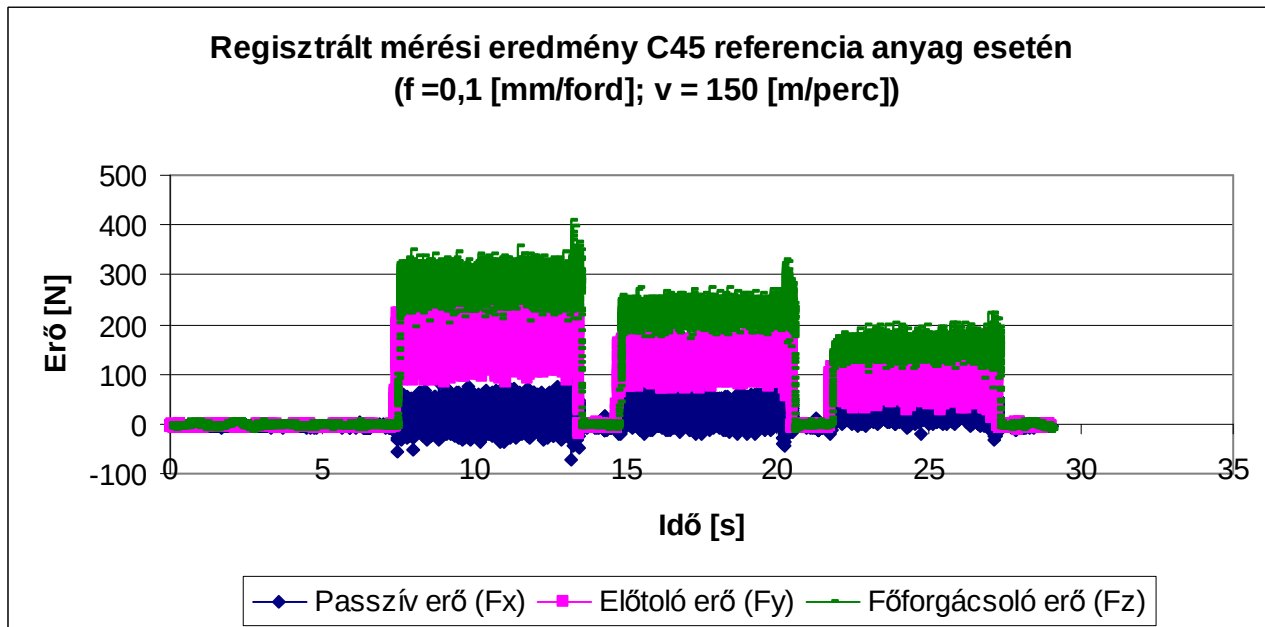
Egy hosszesztergálási mérés abból állt, hogy a tokmánypofák közé befogott munkadarab palástfelületét felesztergáltuk, hogy eltüntessük a szinterelés nyomait, majd a megírt programot és az adatrögzítést elindítva az esztergagép ugyanazon vágósebesség és előtolás érték mellett 3 különböző fogásvételyi anyagot távolított el a munkadarabból. Egy ilyen mérés spektrumát a 27. ábra mutatja.



27.ábra. Hosszesztergáláskor regisztrált spektrum

Először a legnagyobb, 1 [mm]-es fogásvétellel, majd 0,8 [mm]-el, végül pedig 0,5 [mm] –el dolgoztunk. A vízszintes tengelyen a mérés közben eltelt idő látható, míg a függőleges tengelyről az egyes erőkomponensek értékeit lehet leolvasni.

Ezekből a diagramokból, az állandósult állapotban (vízszintes szakaszon) átlagolással számítottam ki az ébredő erő komponenseket. A mérési eredmény spektrumán jól látszik, hogy forgácsolás közben rezgés lépett fel. Az ébredő rezgés mértéke tapasztalataink szerint összefüggött az anyagminőséggel, és a forgácsolási paraméterekkel is. Réztartalmú anyagok esetében minden esetben jelentős mértékű rezgés lépett fel $v = 100$ [m/perc] vágósebességi érték felett, bármilyen más paramétert is változtattunk. A C45-ös referenciaanyagunknál minden beállítás esetén kismértékű rezgést tapasztaltunk. (28. ábra) Ugyanez vonatkozott a rozsdamentes (410L keverékek) és a Distaloy porkeverékből készült darabokra is.



28.ábra. Hosszesztergáláskor regisztrált spektrum

Megmunkálás közben vizsgáltuk a keletkező forgács alakját is, ezért minden paraméter változása esetén összegyűjtöttük a gép munkateréből a keletkezett forgácsmennyiséget. Megfigyeltük, hogy a képződő forgács alakjára a fogásvétel változtatása volt a legnagyobb hatással. C45-ös referencia anyagunk esetén jól elkülönülő forgácsalakot tapasztaltunk. Nagy fogásvétel esetén apró, töredezett forgács, kis fogásvétel esetén pedig folyó forgács keletkezett. A porkohászati anyagok esetében ilyen jelenséget nem figyelhettünk meg. Minden esetben apró, töredezett forgács keletkezett, bármilyen paramétert is változtattunk. Ezt a 29. ábra jól mutatja. Ez alátámasztja a szakirodalomban leírtakat, miszerint porkohászati anyagok forgácsolásakor szinte mindig apró, töredezett forgács keletkezik. Ennek az az előnye, hogy kisebb helyet foglal, mint a folyó forgács, könnyebb kezelni, és nem tekeredik rá a munkadarabra vagy a szerszámra ezzel baleset lehetőségét okozva.



29.ábra. C45 és porkohászati anyag forgácsolásakor kialakuló forgácsalakok

Mivel kopáskritériumnak 0,2 [mm]-es hátkopást adtunk meg, minden munkadarab „elforgácsolása” után a lapkát kivettük a fészekből, és a vágóél minőségét mikroszkóp alatt ellenőriztük.

Kopás szempontjából a rozsdamentes (410L) keverékek, Distaloy keverék és a PMX keverék megmunkálása volt a legrosszabb. Ezen anyagminőségek mérése után mindig új vágóélt kellett alkalmazni, mert elértük a kopáskritériumunkat. Viszont a réztartalmú NC100.24-es keverékek esetében a szerszámkopás mértéke nem volt jelentős. Egy vágóéllal több ilyen keveréket is végig vizsgálhattunk anélkül, hogy elértük volna a kopáskritériumunkat. Ez annak tudható be, hogy az alapfémhez ötvözőként hozzáadott réz kenőanyagként viselkedett.

A 30. ábrán egy elkopott vágóél látható 500x-os nagyításban, melynél elértük a 0,2 [mm]-es hátkopás értéket. A vágóél folyamatos vizsgálata során jól megfigyelhettük a kopásmechanizmusát. Először csak a hátfelület bevonati rétege kopott le, majd fokozatosan jelent meg a hátkopás.



30.ábra. Jól látható hátkopás a forgácsoló lapkán

A hosszesztergálási kísérletek során regisztrált spektrumokból a kiátlagolt mérési értékeket a melléklet tartalmazza.

Ezen eredményekből háromféle kiértékelést készítettem. Először az abszolút forgácsolási jellemzőket és ébredő erőket foglaltam táblázatba. (2.táblázat) Ezt követően az abszolút eredményekből a referenciaanyagra viszonyított jellemzőket készítettem. (3. táblázat) Végül pedig az abszolút eredményeket tartalmazó táblázat alapján az egyes anyagokra nézve rangsort állítottam fel, hogy adott szempont szerint vizsgálva mennyire jól forgácsolható az anyag. (4. táblázat) Ezen rangsorokat soronként összegeztem, és így az utolsó oszlopban kapott értékekkel jellemeztem a megmunkálhatóságot. Amelyik anyagnál kisebb szám található, az jobban megmunkálható, mint amelyikre nagyobb számérték adódott.

Azért volt szükség ezen táblázatok elkészítésére, mert a mért eredményekből egyértelműen nem tudtunk következtetéseket levonni a megmunkálhatóságra vonatkozóan. Például a PMX originál és a Distaloy + 0,5% C keverékek esetén a $k_{c0,1}$ jellemző értéke közel azonos volt, míg keménységük több mint 150 HV30 értékben eltért egymástól. Hasonló ellentmondásra jutottunk a passzív erő (Fx) vizsgálata kapcsán is. Ezért a kiértékelés során a hangsúlyt az abszolút eredményekből képzett jellemzőkre fektettük.

A viszonyított eredményeket tartalmazó táblázatban azt láthatjuk, hogy a referenciaanyaghoz (C45) képest melyik anyag bír jobb / rosszabb tulajdonságokkal adott szempont szerint. Ahol 1- nál kisebb számérték szerepel, ott az adott anyag jobb tulajdonságokkal, ahol pedig 1-nél nagyobb számérték szerepel, ott pedig rosszabb tulajdonságokkal bír az anyag forgácsolhatósági szempontból. Ezen táblázat alapján az anyagminőségeket két csoportra lehet osztani, egy viszonylag jól, és egy rosszul forgácsolható csoportra. Ez a felosztás már mutat valamilyen rendszert, de még mindig nem elég konkrét.

A rangsorolt jellemzőket figyelembe véve viszont az anyagminőségeket három csoportra lehet felosztani.

- Egy „C45-szerűen” forgácsolható csoportra: (C45; NC100.24 + 0,5% C + 8% Cu; és 410L)
- Egy „közepesen rosszul” forgácsolható csoportra: (NC100.24 + 0,5% C + 4% Cu, NC100.24 + 0,5% C + 2% Cu; 410L +2% Cu; 410L +4% Cu és PMX originál), és
- Egy, a C45-hez képest „nehezen forgácsolhatóra”: (NC100.24 +1,5% C + 2%Cu; NC100.24 +1% C + 2%Cu; NC100.24 +0,8% C + 2%Cu; NC100.24 +0,2% C + 2%Cu; NC100.24 originál és Distaloy +0,5% C)

Ez már jó felosztás. Az egyes csoportokat figyelembe véve megfigyelhető, hogy az ötvözők kismértékű megváltoztatása mekkora hatással van a forgácsolhatóságra. Pl. a szénttartalom növelése rontja, a réztartalom növelése pedig javítja azt a vasporkeverékek esetében. A rozsdamentes porkeveréknél pedig azt lehet megfigyelni, hogy a réztartalom növelésével romlik a forgácsolhatóság.

Összefoglalva a hosszesztergálási kísérletek eredményeiből megállapítható, hogy az NC100.24 + 0,5% C + 8% Cu anyaggal lehetett a legjobban dolgozni, a Distaloy +0,5% C keverékkel pedig a legrosszabban. Ez alátámasztja a kísérlet lefolytatása során tapasztaltakat is.

Érdekességképpen meg kell jegyezni, hogy a nagy réztartalmú NC100.24 anyag esetében kis forgácsolóerők ébredtek, mérsékelt volt a szerszámkopás, viszont erős rezgés lépett fel forgácsoláskor. Ezzel szemben a nehezen megmunkálható Distaloy keveréknél nagy forgácsolóerőket és jelentős mértékű szerszámkopást tapasztaltunk, bár itt volt a legkisebb rezgés, és a forgácsolt felület minősége is itt volt a legjobb az összes felület közül. Ebből is látszik, hogy a porkohászati anyagok forgácsolhatóságának rangsorolása mennyi nehézséget rejt.

2. Táblázat: Abszolút forgácsolási jellemzők

Hosszesztergálási kísérlet abszolút jellemzői								
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213								
Alkalmazott késszár: CSLCR1616H09								
Alkalmazott lapka: CCMT09T304-PM								
Alkalmazott keménységmérő berendezés: KB Prüftechnik DKD-K-02801								
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019								
Alkalmazott adatgyűjtő egység: Laptop LabView adatrögzítő programmal								
Száraz megmunkálás								
Vágósebesség (v) = 50 [m/perc]								
Előtolás (f) = 0,1 [mm/ford]								
Fogásvétel (a) = 1 [mm]								
Minta sorszáma	Anyagminőség	Keménység [HV30]	$k_{c0,1}$ [N/mm ²]	E [Ws/mm ³]	Passzív erő (F _{x0,1}) [N]	Főforgácsoló erő (F _{z0,1}) [N]	F _{x0,1} /F _{z0,1}	Merekség
1	NC100,24 + 0,5% C+ 2% Cu	72,60	2750	2,8	57	275	0,2073	1911,40
2	NC100,24 + 0,5% C+ 4% Cu	110,50	2740	2,7	55	274	0,2007	1954,30
3	NC100,24 + 0,5% C+ 8% Cu	111,30	2340	2,3	45	234	0,1923	1900,00
4	NC100,24 + 0,2% C+ 2% Cu	80,00	2920	2,9	63	292	0,2158	858,57
5	NC100,24 + 0,8% C+ 2% Cu	85,00	2900	2,9	61	290	0,2103	874,29
6	NC100,24 + 1% C+ 2% Cu	83,45	2920	2,9	76	292	0,2603	1895,70
7	NC100,24 + 1,5% C+ 2% Cu	91,50	2760	2,8	71	276	0,2572	961,43
8	Distaloy +0,5% C	206,00	3130	3,1	103	313	0,3291	1888,60
9	410 L	125,50	2450	2,5	50	245	0,2041	1850,00
10	410 L+ 2% Cu	135,50	2450	2,5	54	245	0,2204	1905,70
11	410 L+ 4% Cu	131,50	2570	2,6	63	257	0,2451	1877,10
12	NC100,24 originál	61,90	3190	3,2	77	319	0,2414	1745,70
13	PMX originál	52,23	3140	3,1	58	314	0,1847	1974,30
14	C45 (referencia anyag)	180,00	2680	2,7	47	268	0,1754	2311,40

3. Táblázat: Viszonyított forgácsolási jellemzők

Hosszesztergálási kísérlet C45-re viszonyított jellemzői								
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213								
Alkalmazott késszár: CSLCR1616H09								
Alkalmazott lapka: CCMT09T304-PM								
Alkalmazott keménységmérő berendezés: KB Prüftechnik DKD-K-02801								
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019								
Alkalmazott adatgyűjtő egység: Laptop LabView adatrögzítő programmal								
Száraz megmunkálás								
Vágósebesség (v) = 50 [m/perc]								
Előtolás (f) = 0,1 [mm/ford]								
Fogásvétel (a) = 1 [mm]								
Az abszolút jellemzőkből számított viszonyszámokat tartalmazza ez a táblázat								
Minta sorszáma	Anyagminőség	Keménység [HV30]	$k_{c0,1}$ [N/mm ²]	E [Ws/mm ³]	Passzív erő ($F_{x0,1}$) [N]	Főforgácsoló erő ($F_{z0,1}$) [N]	$F_{x0,1}/F_{z0,1}$	Meredekség
1	NC100,24 + 0,5% C+ 2% Cu	0,403	1,026	1,026	1,213	1,026	1,182	0,827
2	NC100,24 + 0,5% C+ 4% Cu	0,613	1,022	1,022	1,170	1,022	1,145	0,846
3	NC100,24 + 0,5% C+ 8% Cu	0,618	0,873	0,873	0,957	0,873	1,097	0,822
4	NC100,24 + 0,2% C+ 2% Cu	0,444	1,090	1,090	1,340	1,090	1,230	0,371
5	NC100,24 + 0,8% C+ 2% Cu	0,472	1,082	1,082	1,298	1,082	1,199	0,378
6	NC100,24 + 1% C+ 2% Cu	0,463	1,090	1,090	1,617	1,090	1,484	0,820
7	NC100,24 + 1,5% C+ 2% Cu	0,508	1,030	1,030	1,511	1,030	1,467	0,416
8	Distaloy +0,5% C	1,144	1,168	1,168	2,191	1,168	1,876	0,817
9	410 L	0,697	0,914	0,914	1,064	0,914	1,164	0,800
10	410 L+ 2% Cu	0,752	0,914	0,914	1,149	0,914	1,257	0,824
11	410 L+ 4% Cu	0,730	0,959	0,959	1,340	0,959	1,398	0,812
12	NC100,24 originál	0,343	1,190	1,190	1,638	1,190	1,376	0,755
13	PMX originál	0,290	1,172	1,172	1,234	1,172	1,053	0,854
14	C45 (referencia anyag)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

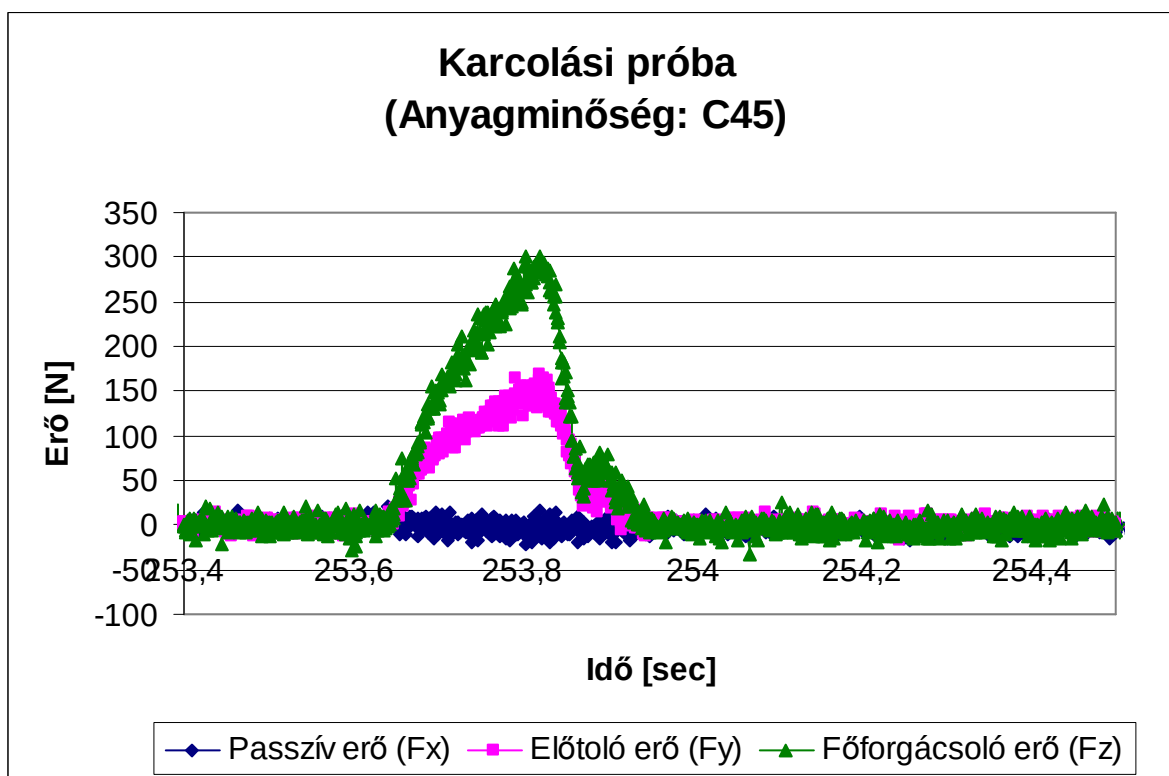
4. Táblázat: Rangsorolt forgácsolási jellemzők

Hosszesztergálási kísérlet rangsorolt jellemzői									
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213									
Alkalmazott késszár: CSLCR1616H09									
Alkalmazott lapka: CCMT09T304-PM									
Alkalmazott keménységmérő berendezés: KB Prüftechnik DKD-K-02801									
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019									
Alkalmazott adatgyűjtő egység: Laptop LabView adatrögzítő programmal									
Száraz megmunkálás									
Vágósebesség (v) = 50 [m/perc]									
Előtolás (f) = 0,1 [mm/ford]									
Fogásvétel (a) = 1 [mm]									
Az abszolút jellemzőkből számított sorrendeket tartalmazza ez a táblázat									
Minta sorszáma	Anyagminőség	Keménység [HV30]	$k_{c0,1}$ [N/mm ²]	E [Ws/mm ³]	Passzív erő ($F_{x0,1}$) [N]	Főforgácsoló erő ($F_{z0,1}$) [N]	$F_{x0,1}/F_{z0,1}$	Meredekség	Összesítés
1	NC100,24 + 0,5% C+ 2% Cu	3	6	6	6	6	6	4	37
2	NC100,24 + 0,5% C+ 4% Cu	8	5	5	5	5	4	3	35
3	NC100,24 + 0,5% C+ 8% Cu	9	1	1	1	1	3	6	22
4	NC100,24 + 0,2% C+ 2% Cu	4	9	9	9	9	8	14	62
5	NC100,24 + 0,8% C+ 2% Cu	6	8	8	8	8	7	13	58
6	NC100,24 + 1% C+ 2% Cu	5	9	9	11	9	13	7	63
7	NC100,24 + 1,5% C+ 2% Cu	7	7	7	10	7	12	12	62
8	Distaloy +0,5% C	14	10	10	13	10	14	8	79
9	410 L	10	2	2	3	2	5	10	34
10	410 L+ 2% Cu	12	2	2	4	2	9	5	36
11	410 L+ 4% Cu	11	3	3	9	3	11	9	49
12	NC100,24 originál	2	12	12	12	12	10	11	71
13	PMX originál	1	11	11	7	11	2	2	45
14	C45 (referencia anyag)	13	4	4	2	4	1	1	29

6.2 Karcolási próba kiértékelése

Egy karcolási próba abból állt, hogy a munkadarab befogása után felesztergáltuk a homloklületét, és elindítva az NC programot, valamint az adatgyűjtő egységet, regisztráltuk a forgácsolóerő komponensek változását.

A forgácsolási paramétereket úgy állítottuk be, hogy a váltólapka 0,5 [mm] mélyen hatoljon be a munkadarab homloklületébe 0,1 [mm/ford] előtolás és 150 [m/perc] vágósebesség mellett. A beszúró mozgás végén egy munkadarab körülfordulásnyi idő várakozást is programoztunk. A mért spektrum az alábbiak szerint alakult: (31.ábra)

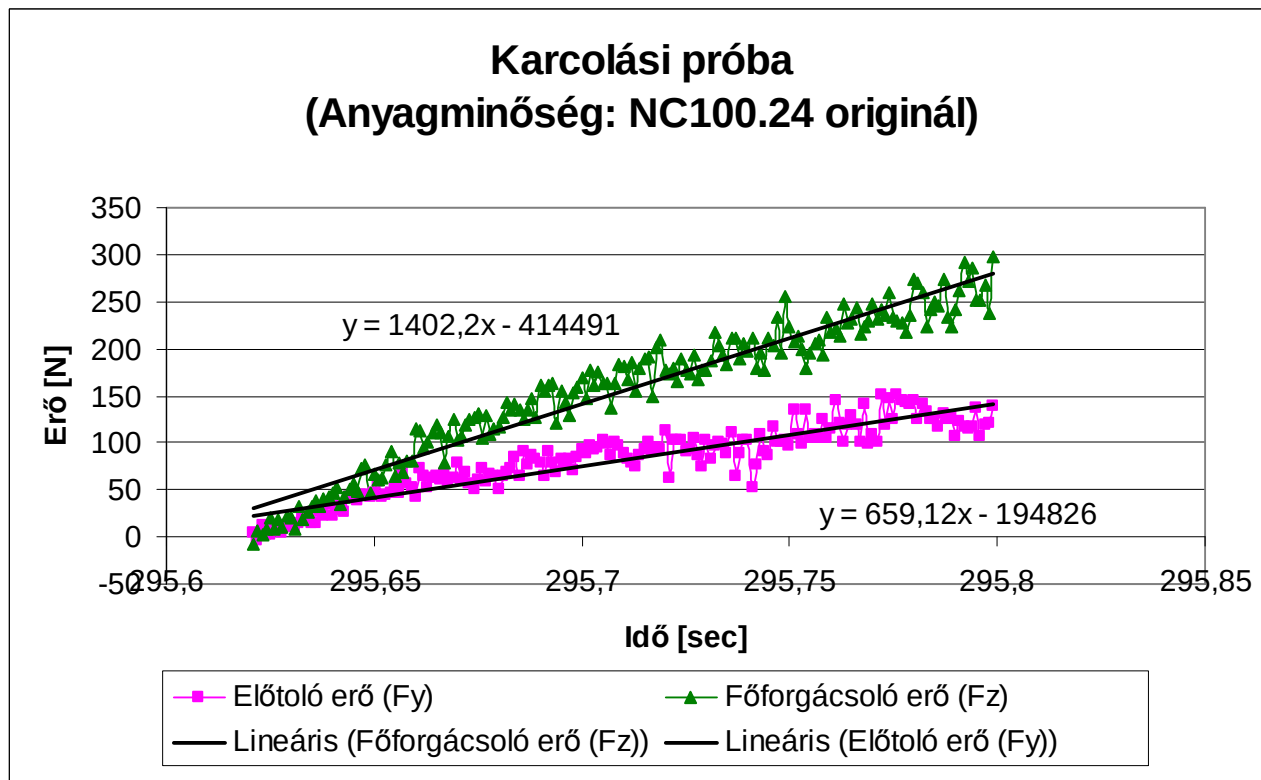


31.ábra. Karcolási próba során regisztrált spektrum

A vízszintes tengelyen itt is a mérés közben eltelt idő, a függőleges tengelyen pedig a regisztrált erőkomponensek láthatók. Minden anyagminőségre ugyanilyen jellegű spektrumot kaptunk kivétel nélkül. Eltérés köztük csak a maximális erőérték nagyságában, és az erő felfutás meredekségében van. Minden esetben megfigyelhető volt, hogy a passzív erőkomponens nagyságában nem történt változás. Ezért a kiértékelés során ezt a komponenst nem vettük figyelembe.

Kiértékeléskor a spektrumnak azt a szakaszát vettük csak figyelembe, amikor az erőértékek nullától a maximum értékig emelkedtek. Minden anyagminőségre elkészítettem ezeket a diagramokat, melyek eltérő meredekségét lineáris trendvonal segítségével számítottam ki: (32. ábra)

Megfigyelhető volt az is, hogy ahogy egyre jobban hatol be a vágóél az anyagba, egyre jobban növekszik az erőingadozás mértéke. Ezen ingadozás nagysága anyagminőségenként eltért, ezért ezt is felhasználtuk kiértékelési jellemzőként.



32.ábra. Az erőfelfutás ábrázolása és trendvonalak felvétele

A karcolási kísérletek során mért eredményekből szintén 3 féle kiértékelő táblázatot készítettem. Egy abszolút (5. táblázat), egy viszonyított (6. táblázat), és egy rangsorolt (7. táblázat) kiértékelési táblázatot.

Véleményünk szerint ez a kísérlet jobban kifejezi az egyes anyagok megmunkálhatóságát, mint a hosszesztergálási kísérletek. Ezen állításunkat arra alapozzuk, hogy a számított értékek kisebb szórást mutatnak, mint a hosszesztergálási kísérletek esetében.

Ennél a kísérletsorozatnál is kiértékeléskor a rangsorolt jellemzőkre fektettük a hangsúlyt. Itt is három csoportba lehet osztani a vizsgált anyagminőségeket:

- A „jól forgácsolható” csoportra: (NC100.24 + 0.5% C+ 2% Cu; NC100.24 + 0.5% C+ 4% Cu; NC100.24 + 0.2% C+ 2% Cu; 410 L; 410 L +2% Cu; és 410 L + 4% Cu)
- A „C45-szerűen” forgácsolhatóra: (NC100.24 originál; PMX originál; és C45)
- Valamint egy „rosszul forgácsolható” csoportra: (NC100.24 + 0.5% C+ 8% Cu; NC100.24 + 0.8% C+ 2% Cu; NC100.24 + 1% C+ 2% Cu; NC100.24 + 1.5% C+ 2% Cu; és Distaloy +0.5% C)

A csoportosítást figyelembe véve elmondható, hogy a karcolási próbánk alkalmasabb porkohászati anyagok megmunkálhatóságának jellemzésére, mint a hosszesztergálási vizsgálatok, mivel azt kaptuk eredményül, hogy az alap porkeverékek a referencia anyaghoz hasonlóan viselkednek, és bárminemű ötvöző hozzáadása változtat ezen a viselkedésen akár rossz, akár jó irányba.

Eredményül ennél a vizsgálatnál is azt kaptuk, hogy a Distaloy +0,5% C anyag a legrosszabban forgácsolható, viszont a legjobban viselkedő anyagnak az NC100.24 + 0.2% C+ 2% Cu anyag mutatkozott szemben a 8% réztartalmú anyaggal. A kétféle kísérlet közötti eltérés véleményem szerint a forgácsoláskor fellépő rezgésnek tudható be, ami kismértékben torzította a hosszesztergálási kísérlet mérési eredményeit.

Ebből a csoportosításból is az állapítható meg, hogy legrosszabbul a nagy széntartalmú anyagokkal lehetett dolgozni, míg legjobban a nagyobb réztartalmú anyagok viselkedtek.

5. Táblázat: Abszolút jellemzők

Karcolási próba abszolút forgácsolási jellemzői								
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213								
Alkalmazott késszár: SDJCR1616H11								
Alkalmazott lapka: DCMT11T304-PM								
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019								
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019								
Beállított vágósebesség: 150 [m/perc]								
Beállított előtolás: 0,1 [mm/ford]								
Beállított fogásmélység: 0,5 [mm]								
Minta sorszáma	Anyagminőség	ΔF_z max [N]	ΔF_y max [N]	F_z meredekség	F_y meredekség	F_y max / F_z max	F_z max [N]	F_y max [N]
1	NC100.24 + 0.5% C+ 2% Cu	72	37	1376,9	576,66	0,4671	313,4	146,4
2	NC100.24 + 0.5% C+ 4% Cu	48	27	1526,3	611,48	0,4268	316,8	135,2
3	NC100.24 + 0.5% C+ 8% Cu	82	92	1409,2	606	0,5814	302,2	175,7
4	NC100.24 + 0.2% C+ 2% Cu	49	36	1286,2	579,93	0,5115	296,8	151,8
5	NC100.24 + 0.8% C+ 2% Cu	69	60	1643,9	678,66	0,5528	303,7	167,9
6	NC100.24 + 1% C+ 2% Cu	113	79	1729,2	711,44	0,5092	371	188,9
7	NC100.24 + 1.5% C+ 2% Cu	73	81	1770,6	733,23	0,5626	241,2	135,7
8	Distaloy +0.5% C	221	110	2004,4	999,53	0,5212	334,4	174,3
9	410 L	81	55	1317,4	644,41	0,5748	283,6	163
10	410 L+ 2% Cu	71	31	1438,3	615,86	0,4712	297,3	140,1
11	410 L+ 4% Cu	40	40	1386,3	624,92	0,5414	284,1	153,8
12	NC100.24 originál	59	53	1402,2	659,12	0,5098	296,8	151,3
13	PMX originál	67	64	1293,5	657,37	0,6092	268,5	163,57
14	C45 (referencia anyag)	40	33	1470,64	726,66	0,5634	299,8	168,9

6. Táblázat: Viszonyított jellemzők

Karcolási próba C45-hez viszonyított forgácsolási jellemzői								
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213								
Alkalmazott késszár: SDJCR1616H11								
Alkalmazott lapka: DCMT11T304-PM								
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019								
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019								
Beállított vágósebesség: 150 [m/perc]								
Beállított előtolás: 0,1 [mm/ford]								
Beállított fogásmélység: 0,5 [mm]								
Az abszolút jellemzőkből számított viszonyszámokat tartalmazza ez a táblázat								
Minta sorszáma	Anyagminőség	$\Delta F_z \text{ max}$ [N]	$\Delta F_y \text{ max}$ [N]	Fz meredekség	Fy meredekség	Fy max / Fz max	Fz max [N]	Fy max [N]
1	NC100.24 + 0.5% C+ 2% Cu	1,800	1,121	0,936	0,794	0,829	1,045	0,867
2	NC100.24 + 0.5% C+ 4% Cu	1,200	0,818	1,038	0,841	0,758	1,057	0,800
3	NC100.24 + 0.5% C+ 8% Cu	2,050	2,788	0,958	0,834	1,032	1,008	1,040
4	NC100.24 + 0.2% C+ 2% Cu	1,225	1,091	0,875	0,798	0,908	0,990	0,899
5	NC100.24 + 0.8% C+ 2% Cu	1,725	1,818	1,118	0,934	0,981	1,013	0,994
6	NC100.24 + 1% C+ 2% Cu	2,825	2,394	1,176	0,979	0,904	1,237	1,118
7	NC100.24 + 1.5% C+ 2% Cu	1,825	2,455	1,204	1,009	0,999	0,805	0,803
8	Distaloy +0.5% C	5,525	3,333	1,363	1,376	0,925	1,115	1,032
9	410 L	2,025	1,667	0,896	0,887	1,020	0,946	0,965
10	410 L+ 2% Cu	1,775	0,939	0,978	0,848	0,836	0,992	0,829
11	410 L+ 4% Cu	1,000	1,212	0,943	0,860	0,961	0,948	0,911
12	NC100.24 originál	1,475	1,606	0,953	0,907	0,905	0,990	0,896
13	PMX originál	1,675	1,939	0,880	0,905	1,081	0,896	0,968
14	C45 (referencia anyag)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

7. Táblázat: Rangsorolt jellemzők

Karcolási próba rangsorolt jellemzői									
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213									
Alkalmazott készár: SDJCR1616H11									
Alkalmazott lapka: DCMT11T304-PM									
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019									
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019									
Beállított vágósebesség: 150 [m/perc]									
Beállított előtolás: 0,1 [mm/ford]									
Beállított fogásmélység: 0,5 [mm]									
Az abszolút jellemzőkből számított sorrendeket tartalmazza ez a táblázat									
Minta sorszáma	Anyagminőség	ΔF_z max [N]	ΔF_y max [N]	Fz meredekség	Fy meredekség	Fy max / Fz max	Fz max [N]	Fy max [N]	Összegzés
1	NC100.24 + 0.5% C+ 2% Cu	8	5	4	1	2	10	4	34
2	NC100.24 + 0.5% C+ 4% Cu	2	1	10	4	1	11	1	30
3	NC100.24 + 0.5% C+ 8% Cu	10	13	7	3	13	8	13	67
4	NC100.24 + 0.2% C+ 2% Cu	3	4	1	2	6	5	6	27
5	NC100.24 + 0.8% C+ 2% Cu	6	9	11	10	9	9	10	64
6	NC100.24 + 1% C+ 2% Cu	11	11	12	11	4	13	14	76
7	NC100.24 + 1.5% C+ 2% Cu	9	12	13	13	10	1	2	60
8	Distaloy +0.5% C	13	14	14	14	7	12	12	86
9	410 L	12	8	3	7	12	3	8	53
10	410 L+ 2% Cu	7	2	8	5	3	6	3	34
11	410 L+ 4% Cu	1	6	5	6	8	4	7	37
12	NC100.24 originál	4	7	6	9	5	5	5	41
13	PMX originál	5	10	2	8	14	2	9	50
14	C45 (referencia anyag)	1	3	9	12	11	7	11	54

7. Összefoglalás

A dolgozatomban kapcsán különböző összetételű porkohászati szinterelt acélalkatrészek megmunkálhatóságával foglalkoztam. Kétféle forgácsolási kísérletet végeztem el, hosszesztergálási és karcosítási kísérleteket. A kapott eredményekből egyértelműen nem lehetett megállapítani, hogy melyik anyag viselkedik a legjobban, mert egymásnak ellentmondó eredmények is születtek. Ezért a kapott eredmények rangsorolásával készítettem egy olyan táblázatot, mely 1 – 14 -ig rangsorolja az egyes anyagminőségeket forgácsolhatósági szempontból. De még ez a táblázat sem ad egyértelmű besorolást, mert ha figyelembe vesszük az egyes anyagok szerszámkoptató és rezgéskeltő hatását, akkor a megmunkálhatóság rangsorolása már nem lesz ilyen egyértelmű. A rangsorolt eredmények felhasználásával 3 anyagcsoportba lehet sorolni a próbatesteket. Egy „jól, egy „közepesen nehezen” és egy „nehezen” megmunkálható csoportba. Ezek a csoportok megfelelnek a kísérletek során tapasztaltakkal, így elmondható, hogy a hosszesztergálási kísérlet sikeres volt.

Az általunk kidolgozott másik forgácsolási kísérlet, a karcosítási próba jobban le tudta írni az anyagok viselkedését, és kezelhetőbb, szemléletesebb eredményeket adott, mint a hosszesztergálási kísérletek. Ezért ezt a kísérletet kinevezhetjük egyfajta porkohászati anyagokat vizsgáló megmunkálhatósági tesztnek is. Sajnos az éltartam vizsgálatok hiánya miatt ez a vizsgálat sem tud teljes képet adni az anyag megmunkálhatóságáról, viszont a forgácsoló ék anyagba hatolását jól leírja. Annak érdekében, hogy még konkrétabb besorolást tudjunk adni az egyes anyagminőségekre vonatkozóan, további vizsgálatokat kell majd elvégeznünk, melyek eredményeit figyelembe véve objektívebb rangsorolást tudnánk felállítani.

A két kísérlet sorozat eredményeit figyelembe véve elmondható, hogy a réztartalom növelés minden esetben javított a forgácsolhatóságon, míg a széntartalom növelés rontotta azt. A tesztek alapján a legrosszabban a Distaloy +0,5% C keveréket lehetett forgácsolni, itt léptek fel a legnagyobb forgácsolóerők, és itt volt a legnagyobb mértékű szerszámkopás is. Ennek ellenére itt lett a legjobb a felületi minőség, és itt rezgett legkevésbé a rendszer.

A tesztek alapján legjobban az alacsony szén, és viszonylag magas réztartalmú NC100.24 keverékkel lehetett dolgozni. Kis forgácsoló erők léptek fel, és a vágóél is alig kopott a vizsgálat során. Ennek ellenére erős rezgést tapasztaltunk, és a felületi minőség is itt lett az egyik legrosszabb. Ebből is látszik, hogy mennyire összetett a megmunkálhatóság megállapítása, és mekkora jelentősége van a verbális jellemzők figyelembe vételének is.

8. Irodalomjegyzék

- [1] ASM Handbook – Powder Metal Technologies and Applications, 1998
- [2] Höganäs Handbook for Sintered Components – Production and Sintered Components, 2004
- [3] Höganäs Handbook for Sintered Components – Design and Mechanical Properties, 2004
- [4] Höganäs Handbook for Sintered Components – Material and Powder properties, 2004
- [5] M. Ju. BALSIN -Porkohászat , Nehézipari könyv-és Folyóiratkiadó Vállalat 1951

9. Mellékletek

8. Táblázat: Első hosszsztergálási kísérleti sorozat

Hosszsztergálási kísérlet						
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213						
Alkalmazott készár: CSLCR1616H09						
Alkalmazott lapka: CCMT09T304-PM						
Alkalmazott keménységmérő berendezés: KB Prüftechnik DKD-K-02801						
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019						
Alkalmazott adatgyűjtő egység: Laptop LabView adatrögzítő programmal						
Száráz megmunkálás						
Vágósebesség $v = 50$ [m/perc]						
Minta sorszáma	Anyagminőség	Előtolás [mm/ford]	Fogásvétel [mm]	Passzív erő (Fx) [N]	Előtoló erő (Fy) [N]	Főforgácsoló erő (Fz) [N]
1	NC100,24 + 0,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	35	45	83
			0,8	40	80	135
			1,0	44	105	175
		0,10	0,5	53	59	139
			0,8	58	109	222
			1,0	63	146	282
		0,20	0,5	98	91	241
			0,8	119	183	382
			1,0	130	250	485
2	NC100,24 + 0,5% C+ 4% Cu	0,05	0,5	34	47	90
			0,8	36	75	139
			1,0	36	98	175
		0,10	0,5	52	61	143
			0,8	55	109	227
			1,0	57	148	291
		0,20	0,5	91	91	246
			0,8	107	171	381
			1,0	119	240	490
3	NC100,24 + 0,5% C+ 8% Cu	0,05	0,5	25	36	64
			0,8	28	61	106
			1,0	31	74	129
		0,10	0,5	33	43	107
			0,8	34	74	169
			1,0	35	92	207
		0,20	0,5	68	68	203
			0,8	81	127	320
			1,0	88	174	408
4	NC100,24 + 0,2% C+ 2% Cu	0,05	0,5	38	44	91
			0,8	41	81	147
			1,0	45	112	192
		0,10	0,5	57	70	149
			0,8	64	136	246
			1,0	71	187	317
		0,20	0,5	53	51	166
			0,8	60	94	261
			1,0	71	129	339

5	NC100,24 + 0,8% C+ 2% Cu	0,05	0,5	36	48	82
			0,8	40	81	136
			1,0	47	106	176
		0,10	0,5	51	59	137
			0,8	59	112	224
			1,0	62	152	287
		0,20	0,5	50	47	166
			0,8	54	80	255
			1,0	59	104	322
6	NC100,24 + 1% C+ 2% Cu	0,05	0,5	21	34	57
			0,8	35	68	119
			1,0	35	84	147
		0,10	0,5	57	65	147
			0,8	61	108	225
			1,0	65	142	291
		0,20	0,5	100	97	262
			0,8	116	173	401
			1,0	128	230	499
7	NC100,24 + 1,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	17	28	55
			0,8	27	64	116
			1,0	31	82	147
		0,1	0,5	45	59	133
			0,8	55	106	211
			1,0	63	141	270
		0,2	0,5	59	54	165
			0,8	60	94	252
			1,0	61	126	310
8	Distaloy +0,5% C	0,05	0,5	90	111	108
			0,8	82	194	163
			1,0	81	239	195
		0,1	0,5	111	124	181
			0,8	105	203	274
			1,0	107	250	333
		0,2	0,5	129	122	272
			0,8	119	199	406
			1,0	124	250	504
9	410 L	0,05	0,5	30	44	86
			0,8	31	76	133
			1,0	31	93	160
		0,1	0,5	48	56	126
			0,8	54	104	207
			1,0	54	132	251
		0,2	0,5	106	100	240
			0,8	112	206	386
			1,0	96	270	476
10	410 L+ 2% Cu	0,05	0,5	42	60	97
			0,8	37	97	144
			1,0	37	118	175
		0,1	0,5	58	64	141
			0,8	56	114	219
			1,0	56	147	272
		0,2	0,5	99	94	242
			0,8	112	183	387
			1,0	105	241	477
11	410 L+ 4% Cu	0,05	0,5	42	65	97
			0,8	44	106	154

			1,0	44	130	186
		0,1	0,5	64	73	148
			0,8	63	123	227
			1,0	65	159	282
		0,2	0,5	98	89	245
			0,8	111	171	385
			1,0	114	234	485
12	NC100,24 originál	0,05	0,5	37	56	89
			0,8	51	118	175
			1,0	52	153	217
		0,1	0,5	83	89	175
			0,8	97	177	280
			1,0	103	233	352
		0,2	0,5	171	159	307
			0,8	189	251	451
			1,0	202	306	545
13	PMX originál	0,05	0,5	28	57	106
			0,8	29	99	167
			1,0	33	128	209
		0,1	0,5	55	70	159
			0,8	57	137	261
			1,0	66	211	356
		0,2	0,5	141	125	291
			0,8	135	254	471
			1,0	141	329	570
14	C45 (referencia anyag)	0,05	0,5	8	34	71
			0,8	10	65	121
			1,0	12	89	155
		0,1	0,5	24	66	137
			0,8	28	140	243
			1,0	23	220	326
		0,2	0,5	93	146	288
			0,8	92	266	462
			1,0	84	351	582

9. Táblázat: Második hosszesztergálási kísérleti sorozat

Hosszesztergálási kísérlet						
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213						
Alkalmazott készzár: CSLCR1616H09						
Alkalmazott lapka: CCMT09T304-PM						
Alkalmazott keménységmérő berendezés: KB Prüftechnik DKD-K-02801						
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019						
Alkalmazott adatgyűjtő egység: Laptop LabView adatrögzítő programmal						
Száraz megmunkálás						
Vágósebesség $v = 100$ [m/perc]						
Minta sorszáma	Anyagminőség	Előtolás [mm/ford]	Fogásvétel [mm]	Passzív erő (Fx) [N]	Előtoló erő (Fy) [N]	Főforgácsoló erő (Fz) [N]
1	NC100,24 + 0,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	47	54	91
			0,8	45	87	136
			1,0	44	108	168
		0,10	0,5	52	61	136
			0,8	54	109	218
			1,0	57	145	275
		0,20	0,5	97	89	238
			0,8	112	165	368
			1,0	119	217	457
2	NC100,24 + 0,5% C+ 4% Cu	0,05	0,5	43	52	93
			0,8	40	82	139
			1,0	38	105	172
		0,10	0,5	53	58	138
			0,8	52	103	215
			1,0	55	138	274
		0,20	0,5	97	91	241
			0,8	109	164	367
			1,0	112	212	466
3	NC100,24 + 0,5% C+ 8% Cu	0,05	0,5	32	49	76
			0,8	32	90	128
			1,0	32	115	159
		0,10	0,5	41	51	116
			0,8	41	82	179
			1,0	45	117	234
		0,20	0,5	82	79	221
			0,8	95	151	348
			1,0	99	197	440
4	NC100,24 + 0,2% C+ 2% Cu	0,05	0,5	44	59	102
			0,8	41	92	149
			1,0	41	114	183
		0,10	0,5	59	68	142
			0,8	62	128	231
			1,0	63	168	292
		0,20	0,5	52	51	165
			0,8	52	78	245
			1,0	64	117	325

5	NC100,24 + 0,8% C+ 2% Cu	0,05	0,5	57	65	95
			0,8	56	104	146
			1,0	57	130	182
		0,10	0,5	59	72	144
			0,8	59	124	228
			1,0	61	162	290
		0,20	0,5	52	47	166
			0,8	51	74	251
			1,0	60	104	326
6	NC100,24 + 1% C+ 2% Cu	0,05	0,5	54	62	89
			0,8	53	92	131
			1,0	54	118	164
		0,10	0,5	75	76	155
			0,8	72	116	228
			1,0	76	155	292
		0,20	0,5	99	89	252
			0,8	108	142	373
			1,0	118	180	455
7	NC100,24 + 1,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	52	64	94
			0,8	53	105	143
			1,0	54	128	174
		0,1	0,5	72	78	151
			0,8	71	123	223
			1,0	71	155	276
		0,2	0,5	75	66	172
			0,8	73	112	259
			1,0	80	149	329
8	Distaloy +0,5% C	0,05	0,5	93	118	103
			0,8	87	199	155
			1,0	90	237	185
		0,1	0,5	112	120	173
			0,8	104	195	259
			1,0	103	241	313
		0,2	0,5	131	121	258
			0,8	125	199	384
			1,0	134	256	475
9	410 L	0,05	0,5	33	52	85
			0,8	34	82	128
			1,0	34	101	155
		0,1	0,5	51	62	131
			0,8	49	108	198
			1,0	50	136	245
		0,2	0,5	91	89	221
			0,8	101	161	347
			1,0	97	212	432
10	410 L+ 2% Cu	0,05	0,5	39	61	85
			0,8	38	99	129
			1,0	39	122	159
		0,1	0,5	57	63	132
			0,8	54	105	198
			1,0	54	135	245
		0,2	0,5	85	78	220
			0,8	97	147	351
			1,0	97	198	443
11	410 L+ 4% Cu	0,05	0,5	49	66	92
			0,8	50	110	140

			1,0	51	137	171
		0,1	0,5	66	75	141
			0,8	63	122	211
			1,0	63	151	257
		0,2	0,5	95	85	231
			0,8	103	151	359
			1,0	103	202	451
12	NC100,24 originál	0,05	0,5	43	66	104
			0,8	45	122	167
			1,0	48	158	211
		0,1	0,5	74	85	160
			0,8	70	163	263
			1,0	77	198	319
		0,2	0,5	133	124	270
			0,8	147	192	394
			1,0	157	248	477
13	PMX originál	0,05	0,5	34	52	96
			0,8	34	89	151
			1,0	36	114	191
		0,1	0,5	41	63	136
			0,8	51	127	238
			1,0	58	184	314
		0,2	0,5	115	100	245
			0,8	105	182	383
			1,0	113	256	492
14	C45 (referencia anyag)	0,05	0,5	17	51	86
			0,8	15	77	127
			1,0	16	111	166
		0,1	0,5	47	69	142
			0,8	46	121	225
			1,0	47	144	268
		0,2	0,5	78	125	268
			0,8	69	211	414
			1,0	59	270	510

10. Táblázat: Harmadik hosszsztergálási kísérleti sorozat

Hosszsztergálási kísérlet						
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213						
Alkalmazott készár: CSLCR1616H09						
Alkalmazott lapka: CCMT09T304-PM						
Alkalmazott keménységmérő berendezés: KB Prüftechnik DKD-K-02801						
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019						
Alkalmazott adatgyűjtő egység: Laptop LabView adatrögzítő programmal						
Szár sz megmunkálás						
Vágósebesség $v = 150$ [m/perc]						
Minta sorszáma	Anyagminőség	Előtolás [mm/ford]	Fogásvétel [mm]	Passzív erő (Fx) [N]	Előtoló erő (Fy) [N]	Főforgácsoló erő (Fz) [N]
1	NC100,24 + 0,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	47	56	91
			0,8	45	90	137
			1,0	45	111	167
		0,10	0,5	56	64	138
			0,8	61	112	216
			1,0	64	145	269
		0,20	0,5	99	87	233
			0,8	103	142	348
			1,0	104	182	426
2	NC100,24 + 0,5% C+ 4% Cu	0,05	0,5	55	63	98
			0,8	45	93	141
			1,0	51	126	179
		0,10	0,5	55	59	135
			0,8	56	105	212
			1,0	59	138	266
		0,20	0,5	97	85	237
			0,8	99	140	352
			1,0	104	178	433
3	NC100,24 + 0,5% C+ 8% Cu	0,05	0,5	48	66	93
			0,8	47	114	144
			1,0	48	140	176
		0,10	0,5	48	55	166
			0,8	51	103	197
			1,0	57	139	252
		0,20	0,5	87	81	225
			0,8	91	140	340
			1,0	96	174	414
4	NC100,24 + 0,2% C+ 2% Cu	0,05	0,5	45	62	100
			0,8	43	102	149
			1,0	42	121	178
		0,10	0,5	55	62	134
			0,8	57	119	218
			1,0	63	156	277
		0,20	0,5	48	46	159
			0,8	65	95	271
			1,0	74	140	354

5	NC100,24 + 0,8% C+ 2% Cu	0,05	0,5	65	73	97
			0,8	61	113	144
			1,0	61	140	178
		0,10	0,5	71	78	149
			0,8	72	123	227
			1,0	76	154	284
		0,20	0,5	60	56	180
			0,8	62	92	271
			1,0	68	118	347
6	NC100,24 + 1% C+ 2% Cu	0,05	0,5	70	75	97
			0,8	67	109	140
			1,0	67	138	171
		0,10	0,5	91	86	161
			0,8	95	132	239
			1,0	99	164	297
		0,20	0,5	103	85	244
			0,8	110	125	359
			1,0	120	154	429
7	NC100,24 + 1,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	58	69	95
			0,8	54	107	139
			1,0	53	130	170
		0,1	0,5	74	77	147
			0,8	72	120	215
			1,0	72	149	266
		0,2	0,5	86	78	186
			0,8	86	122	278
			1,0	90	148	339
8	Distaloy +0,5% C	0,05	0,5	106	136	105
			0,8	103	203	152
			1,0	106	226	182
		0,1	0,5	118	127	170
			0,8	112	206	255
			1,0	113	256	309
		0,2	0,5	134	127	253
			0,8	133	213	381
			1,0	157	273	467
9	410 L	0,05	0,5	38	53	83
			0,8	34	84	120
			1,0	35	103	146
		0,1	0,5	56	62	127
			0,8	52	106	191
			1,0	55	129	230
		0,2	0,5	87	80	211
			0,8	96	144	333
			1,0	98	182	414
10	410 L+ 2% Cu	0,05	0,5	39	59	82
			0,8	35	94	123
			1,0	35	117	152
		0,1	0,5	57	65	128
			0,8	55	107	195
			1,0	55	136	241
		0,2	0,5	85	76	212
			0,8	88	137	335
			1,0	94	178	418
11	410 L+ 4% Cu	0,05	0,5	49	66	89
			0,8	46	107	133

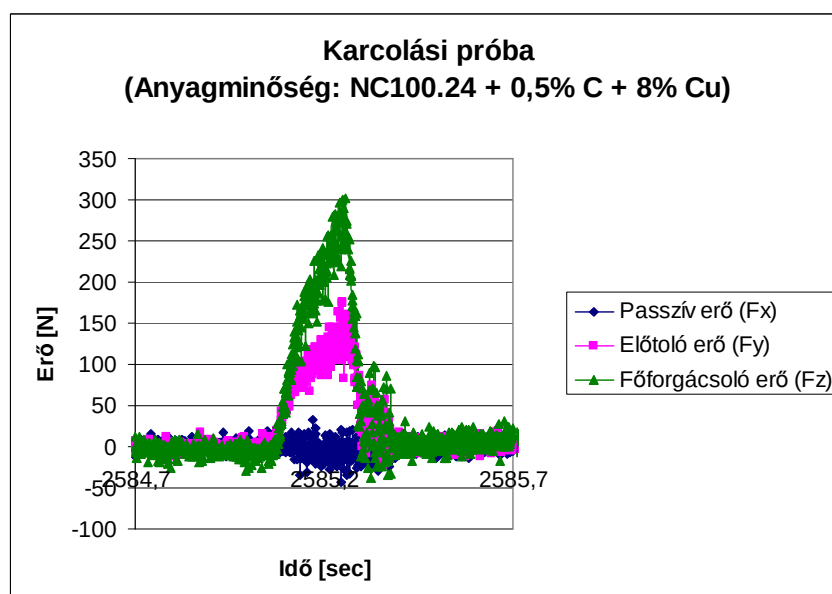
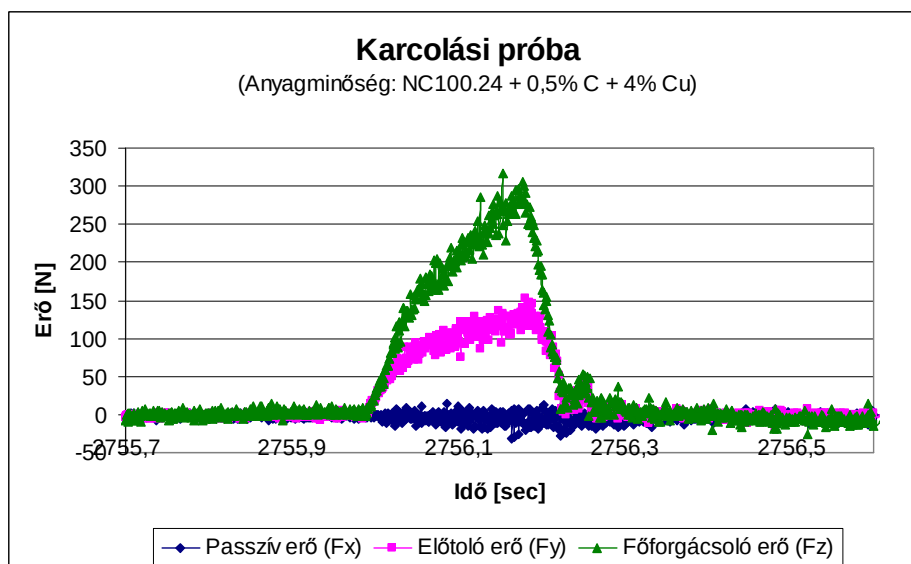
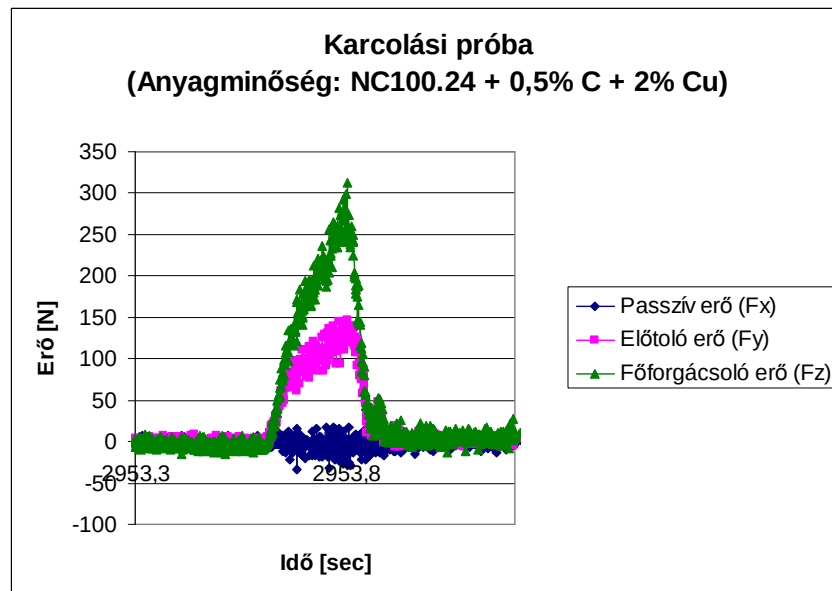
			1,0	47	132	163
		0,1	0,5	70	77	140
			0,8	64	123	208
			1,0	64	153	255
		0,2	0,5	91	81	225
			0,8	94	141	348
			1,0	93	183	428
12	NC100,24 originál	0,05	0,5	40	59	93
			0,8	41	104	147
			1,0	41	129	180
		0,1	0,5	64	76	147
			0,8	65	145	239
			1,0	69	173	288
		0,2	0,5	119	102	241
			0,8	126	161	349
			1,0	131	206	429
13	PMX originál	0,05	0,5	28	47	84
			0,8	26	75	127
			1,0	27	97	158
		0,1	0,5	41	57	125
			0,8	50	101	194
			1,0	57	153	261
		0,2	0,5	123	99	246
			0,8	108	157	351
			1,0	103	202	428
14	C45 (referencia anyag)	0,05	0,5	15	51	83
			0,8	12	79	125
			1,0	12	109	160
		0,1	0,5	32	83	151
			0,8	22	126	221
			1,0	19	166	278
		0,2	0,5	60	96	245
			0,8	55	169	381
			1,0	46	226	480

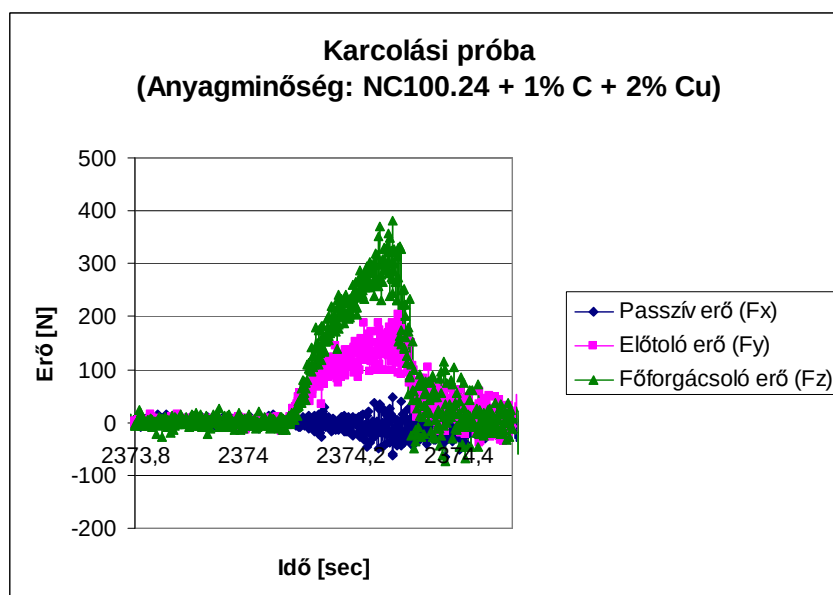
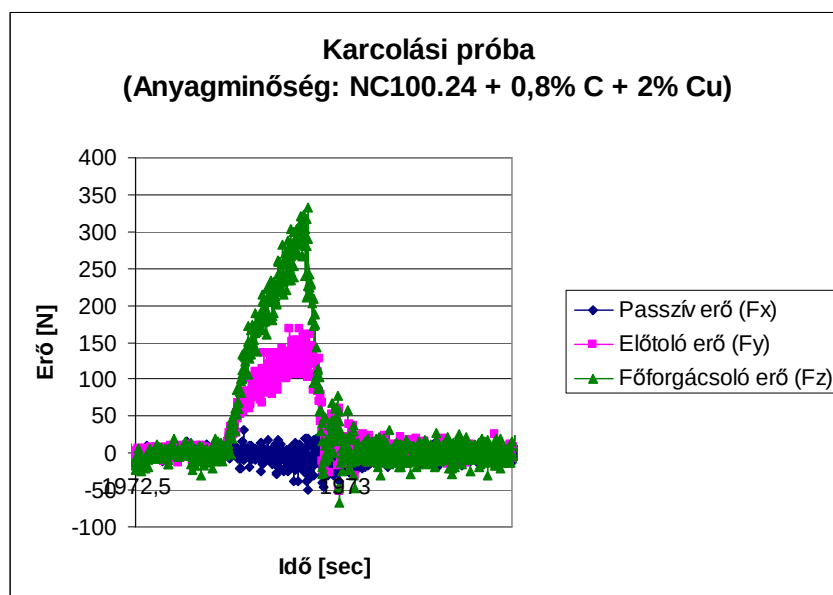
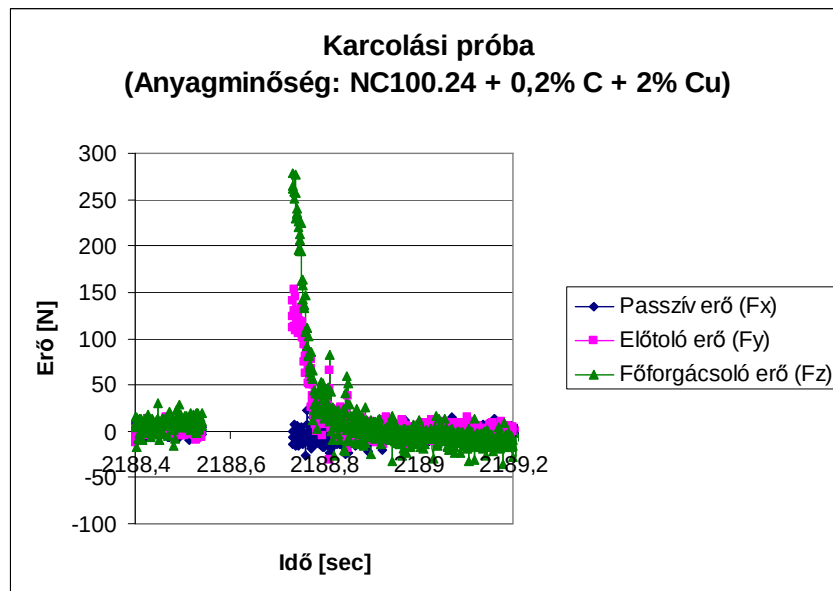
11. Táblázat: Negyedik hosszsztergálási kísérleti sorozat

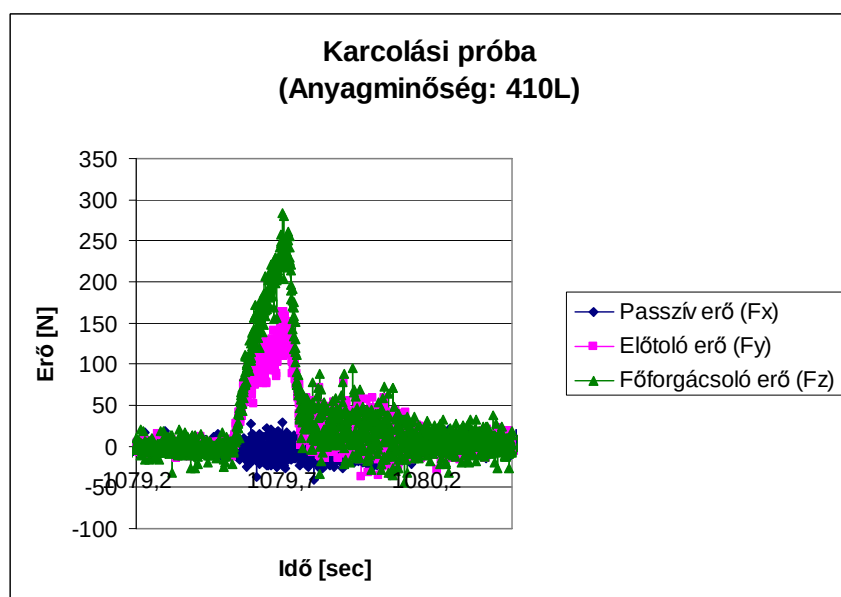
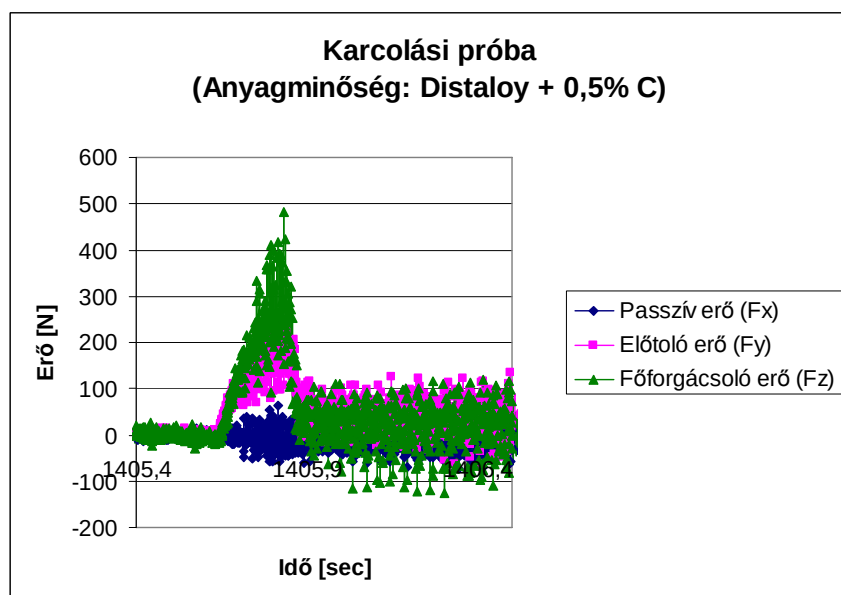
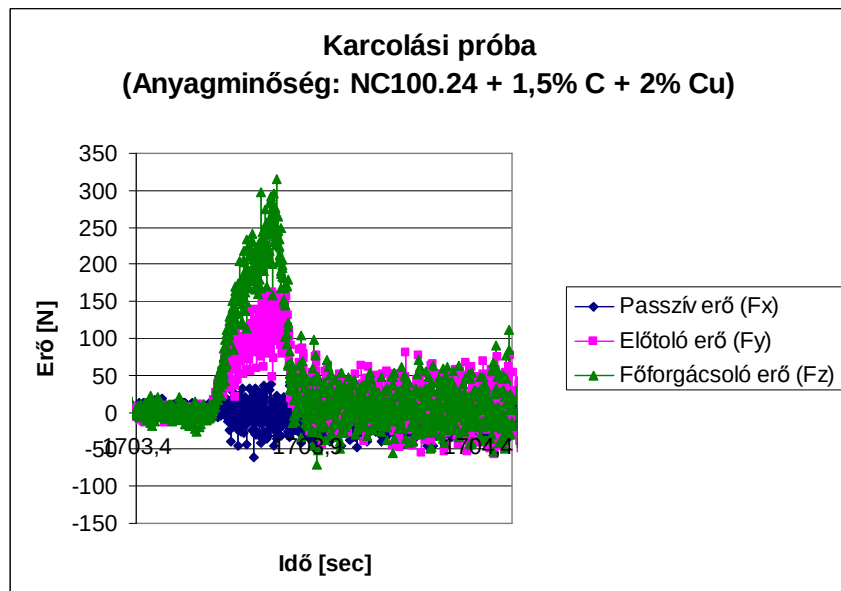
Hosszsztergálási kísérlet						
Alkalmazott gép: Hembrug SLANTBED MIKROTURN 50 CNC, Sorozatszám: 70023213						
Alkalmazott késszár: CSLCR1616H09						
Alkalmazott lapka: CCMT09T304-PM						
Alkalmazott keménységmérő berendezés: KB Prüftechnik DKD-K-02801						
Alkalmazott erőmérő és erősítő: Kistler 9752 A, Sorozatszám: 119170; Kistler 5019						
Alkalmazott adatgyűjtő egység: Laptop LabView adatrögzítő programmal						
Szárak megmunkálás						
Vágósebesség $v = 200$ [m/perc]						
Minta sorszáma	Anyagminőség	Előtolás [mm/ford]	Fogásvétel [mm]	Passzív erő (Fx) [N]	Előtoló erő (Fy) [N]	Főforgácsoló erő (Fz) [N]
1	NC100,24 + 0,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	49	60	92
			0,8	45	92	134
			1,0	41	106	156
		0,10	0,5	62	65	140
			0,8	64	105	210
			1,0	65	129	252
		0,20	0,5	88	81	220
			0,8	98	131	340
			1,0	115	166	414
2	NC100,24 + 0,5% C+ 4% Cu	0,05	0,5	57	67	99
			0,8	51	103	144
			1,0	52	118	171
		0,10	0,5	59	61	135
			0,8	59	101	208
			1,0	63	131	257
		0,20	0,5	91	77	229
			0,8	92	124	338
			1,0	109	161	413
3	NC100,24 + 0,5% C+ 8% Cu	0,05	0,5	55	74	100
			0,8	52	123	150
			1,0	53	152	188
		0,10	0,5	60	65	132
			0,8	57	110	200
			1,0	62	141	249
		0,20	0,5	82	71	220
			0,8	88	127	331
			1,0	98	163	412
4	NC100,24 + 0,2% C+ 2% Cu	0,05	0,5	45	62	95
			0,8	42	99	141
			1,0	39	118	168
		0,10	0,5	60	63	136
			0,8	63	111	213
			1,0	64	137	258
		0,20	0,5	65	62	183
			0,8	70	97	284
			1,0	90	150	378

5	NC100,24 + 0,8% C+ 2% Cu	0,05	0,5	69	74	99
			0,8	63	107	144
			1,0	56	112	162
		0,10	0,5	78	78	151
			0,8	79	117	225
			1,0	86	132	254
		0,20	0,5	71	60	191
			0,8	78	94	285
			1,0	88	115	324
6	NC100,24 + 1% C+ 2% Cu	0,05	0,5	79	78	99
			0,8	71	112	140
			1,0	68	105	152
		0,10	0,5	98	86	162
			0,8	97	121	232
			1,0	94	122	249
		0,20	0,5	109	83	242
			0,8	113	114	354
			1,0	147	149	404
7	NC100,24 + 1,5% C+ 2% Cu	0,05	0,5	59	68	94
			0,8	54	99	135
			1,0	48	90	139
		0,1	0,5	77	77	146
			0,8	73	115	212
			1,0	75	116	226
		0,2	0,5	94	83	195
			0,8	97	124	283
			1,0	102	122	303
8	Distaloy +0,5% C	0,05	0,5	94	100	100
			0,8	83	146	143
			1,0	76	135	154
		0,1	0,5	127	135	169
			0,8	119	216	253
			1,0	119	255	300
		0,2	0,5	144	133	249
			0,8	135	214	368
			1,0	138	238	445
9	410 L	0,05	0,5	37	52	80
			0,8	34	80	117
			1,0	30	99	139
		0,1	0,5	60	62	122
			0,8	54	99	182
			1,0	0	0	0
		0,2	0,5	86	74	198
			0,8	87	128	294
			1,0	95	174	388
10	410 L+ 2% Cu	0,05	0,5	42	59	83
			0,8	36	90	122
			1,0	34	112	149
		0,1	0,5	58	66	129
			0,8	53	109	196
			1,0	51	137	243
		0,2	0,5	83	72	208
			0,8	82	120	298
			1,0	84	152	374
11	410 L+ 4% Cu	0,05	0,5	59	71	96
			0,8	55	112	140

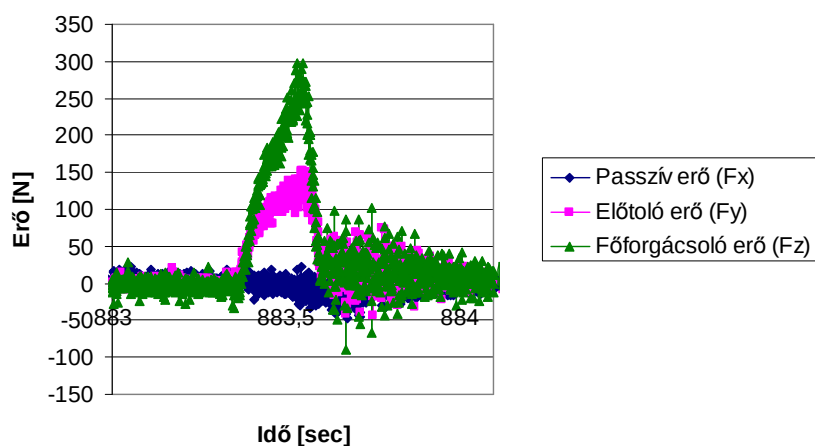
		0,1	1,0	57	142	171
			0,5	72	75	140
			0,8	67	124	212
		0,2	1,0	69	159	259
			0,5	90	82	219
			0,8	94	141	344
			1,0	97	188	420
12	NC100,24 originál	0,05	0,5	39	56	88
			0,8	38	94	136
			1,0	33	110	157
		0,1	0,5	56	65	131
			0,8	57	131	214
			1,0	59	158	267
		0,2	0,5	102	86	220
			0,8	110	139	328
			1,0	108	173	381
13	PMX originál	0,05	0,5	28	47	82
			0,8	27	76	125
			1,0	26	96	151
		0,1	0,5	40	56	121
			0,8	43	94	186
			1,0	44	126	234
		0,2	0,5	99	83	217
			0,8	98	141	332
			1,0	84	181	391
14	C45 (referencia anyag)	0,05	0,5	13	52	81
			0,8	12	88	128
			1,0	11	106	155
		0,1	0,5	26	66	128
			0,8	21	112	211
			1,0	18	154	267
		0,2	0,5	54	87	232
			0,8	51	159	376
			1,0	43	212	471



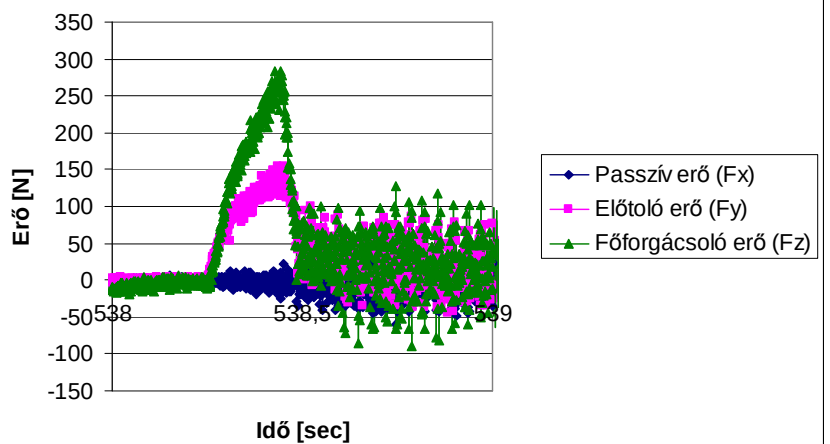




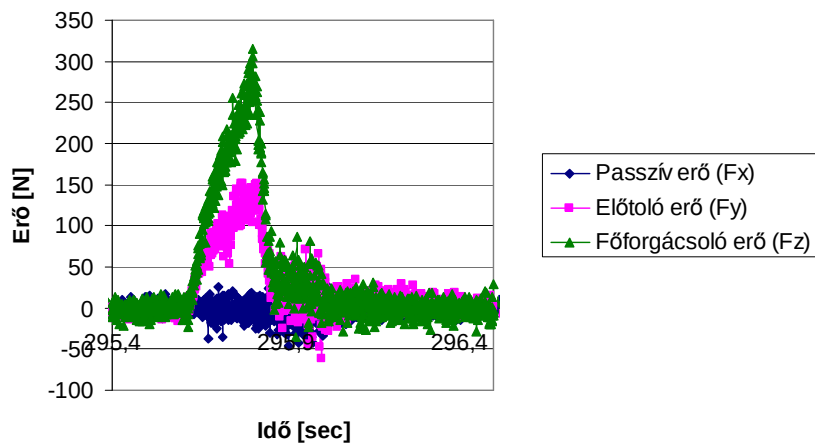
**Karcolási próba
(Anyagminőség: 410L + 2% Cu)**



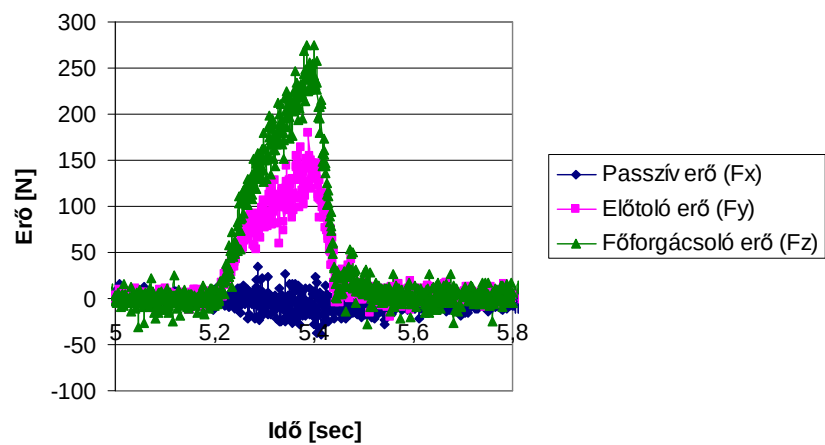
**Karcolási próba
(Anyagminőség: 410L + 4% Cu)**



**Karcolási próba
(Anyagminőség: NC100.24 originál)**



**Karcolási próba
(Anyagminőség: PMX originál)**



**Karcolási próba
(Anyagminőség: C45)**

