



**Manufacturing 2010**  
A GTE XX. nemzetközi Gyártás Konferenciája  
Budapest 2010 október 20-21  
<http://www.gteportal.eu/manuf2010/>



Nemzetközi részvételű GTE konferencia  
**Gyártás 2010**

2010. október 20-21.  
Budapest

## **ÚJ ÉLGEOMETRIA FEJLESZTÉSE PCBN SZERSZÁMOKRA**

**Dr. Mészáros Imre, Farkas Balázs Zsolt, Keszenheimer Attila**

Cím, e-mail: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gyártástudomány és –  
technológia Tanszék 1111 Budapest, Egrý J. u. 1, T. ép.  
Direct-Line Kft 2330 Dunaharaszti, Jedlik Ányos 14

[imesaros@manuf.bme.hu](mailto:imesaros@manuf.bme.hu), [farkasb@manuf.bme.hu](mailto:farkasb@manuf.bme.hu), [keszenheimer.attila@dldh.hu](mailto:keszenheimer.attila@dldh.hu)

### **BEVEZETÉS**

A keménysztergálás technológiája mára már hagyományos technológiává vált. A keménysztergálás egy általános sztergán is kivitelezhető, de a precíz alkatrészek iránti egyre nagyobb igény megköveteli a komplex gyártási rendszer folyamatos fejlesztését. Egy általános nagy pontosságú szterga képes már az IT3-IT4 tűrés teljesítésére is, de ez a pontosság még tovább növelhető a gyártási technológia fejlesztésével.

A forgácsoló szerszám fontos része a megmunkálásnak. A szerszámnak alapvető szerepe van a forgácsleválasztási folyamatban és a kialakuló felületi érdességben. A megmunkálás során fellépő erők befolyásolják a kialakuló felületi érdességet, felületi feszültségeket, szerszámkopást is.

### **KEMÉNYESZTERGÁLÁSHOZ HASZNÁLT SZERSZÁMOK**

A nagy pontosságú keménysztergálás általános szerszámanyaga a pCBN (polikristályos kőbős bórnitrid), mely keménysége és termostabilitása miatt kiváló szerszámanyag edzett acélok forgácsolására. A pCBN anyagok általában 50-90% közötti CBN szemcsét tartalmaznak. A pCBN anyagoknál különböző kötőanyagokat használnak kötőfázisként, melyek nagyban befolyásolják a pCBN anyag mechanikai, termodinamikai és elektromos tulajdonságait. A különböző összetételű anyagok különböző megmunkálásokhoz alkalmasak. Az alacsony CBN tartalmú anyagokat inkább simításra, míg a magas CBN tartalmúkat nagyolásra használják. Alapvetően TiC, TiN, és különböző fémeket (wolfram, kobalt) alkalmaznak kötőanyagként. Sok lapkán alkalmaznak bevonatot is, mely tovább növeli a szerszám jó tulajdonságait.

A pCBN szinterelése után, keménysége miatt huzalos szikraforgácsolással vagy lézerrel darabolják a pCBN szeleteket. A kivágott lapkákat általában keményfémbe forrasztják be. A forrasztás után köszörüléssel készítik el a lapka mikro-geometriáját. A köszörülés a legtermelékenyebb eljárás a

lapkák megmunkálására, de hátrányként említhető, hogy csak egyszerűbb geometriákat lehet készíteni vele gazdaságosan, ezért a szerszámgyártók csak egyszerű geometriájú szerszámokat hoztak forgalomba. A legnagyobb problémát a köszörűkorong intenzív kopása jelenti.

A legegyszerűbb geometriájú esztergáló lapka a fazetta és éllekerekítés nélküli lapka. A gyakorlatban általában ez a lapka bizonyul a legszerűlenebbnek. A fazettával rendelkező lapkának nagyobb az élstabilitása. A fazetta nagysága általában 0-25°-ig terjed. A fazettával rendelkező élet néha lekerekítéssel egészítik ki.

Természetesen, a különböző geometriáknak különböző hatásuk van a forgácsleválasztásban és az elhasználódási folyamatban is.

## **A SZERSZÁMGOMETRIA HATÁSA A FORGÁCSOLÁSRA**

A szerszámgeometria hatásáról számos publikáció látott napvilágot, ezért jelenleg csak néhány fontosat említünk meg.

Alapvető fontosságúnak tekinthető a szerszám homlokszöge. Az általában alkalmazott erősen negatív homlokszögek a szerszám terhelhetőségét növelik. A homlokszögnek a passzív erőre gyakorolt hatásáról számolt be egy korábbi publikáció [2]. Minél nagyobb negatív homlokszögű a szerszám, annál nagyobb passzív erő ébred egyébként azonos beállítások mellett. A homlokszög a szegmentált forgács osztástávolságát [4] és a szerszám élettartamát is befolyásolja. Néhány kutatási eredmény azt mutatta, hogy a homlokszögnek jelentősebb hatása van a passzív erőre, mint a tangenciális erőre [3]. A homlokszög csökkentésével növelhető a szerszám élettartama, mert növeljük a szilárdságát, azonban ez csak egy bizonyos értékig van így. Az élettartamnak maximuma van egy optimális homlokszögnél [6,7].

A szerszám csúcscugara egy meghatározó eleme a forgácskeresztmetszetnek, továbbá a forgácsoló erőre is jelentős hatással van [8]. A nagyobb csúcscugár nagyobb passzív erőt is jelent a nagyobb kontakt ívhossz miatt. Ez a megfigyelés a szerszám éllekerekedési sugarára vezethető vissza.

Minél nagyobb az éllekerekedési sugár az anyagleválasztás annál inkább vasalásra, a felületi réteg képlékeny alakításához hasonlít. Kis fogásmélységeknél a forgácsvastagság könnyen ez alá az érték alá eshet. Ha tekintjük a szerszám élet, akkor megállapíthatjuk, hogy az ortogonál metszetben vett kontúron haladva különböző homlokszögeket definiálhatunk. Elméletileg a szerszám orrpontjában a homlokszög -90° lehet. -90° homlokszög esetén nem realizálható forgácsleválasztás a hagyományos forgácsolási elméletek alapján.

A forgácsleválasztás képlékeny alakváltozása jelentősen befolyásolja a munkadarab felületi rétegének feszültségeit is. Nagyobb éllekerekedési sugár általában nagyobb maximális nyomófeszültséget eredményez a felületben.

A forgalomban elterjedt lapkákat tekintve elmondhatjuk, hogy a legtöbb szerszámnak egy egyszerű csúcscugara és egy él mentén állandó homlokszöge van, de található néhány speciális célú szerszám is, mint pl. a nagy előtolásra használt wiper lapka.

Ezek a speciális lapkák bonyolultabb geometriákból is állhatnak. A wiper-élű szerszámok forgácsoló élének van egy az előtolással párhuzamos nagy sugarú, vagy egyenes szakasza.

## **A VÁGÓÉL FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI**

A szerszámél jelenlegi geometriai kialakítását a jelenlegi élezési technológia határozza meg és sok esetben az optimális anyagleválasztási feltételeket jelentősen bekorlátozza.

Néhány kutatás irányult már a szerszám kopásának csökkentésére, a forgácsoló erő csökkentésére vagy a felületintegritás javítására. Számos kutatás alapul végelesemes szimulációkon vagy kísérleti módszereken. A végelesemes szimuláció viszonylag új módszer a forgácsolás modellezésében, mégis már számos publikáció látott napvilágot, de tekintve időigényességét és a megfelelő anyagi

viselkedés modellezésének hiányosságait, az eredmények megbízhatósága messze van a kísérletileg mért értékektől.

A nagy pontosságú keménysztergálás vége-selemes szimulációja meglehetősen nehéz feladat, mert az anyagi modell bonyolult, erős hálótorzulás tapasztalható a szimuláció során, ráadásul az anyag szövetszerkezete is befolyásolja az alakváltozást.

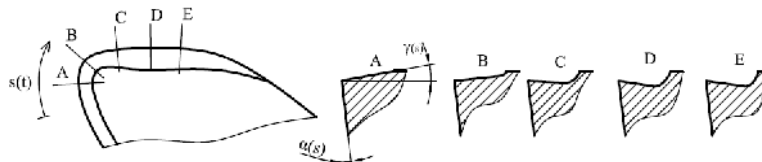
A munkadarab szemcsemérete közel abban a nagyságrendben található, mint a forgácsvastagság. A legtöbbször különböző fázisok találhatók az anyagban, melyek mikromechanikai tulajdonságai is különbözőek. A legtöbb vége-selemes modell homogén anyagot feltételez és a leggyakrabban alkalmazott konstitutív egyenleteket alkalmazza. Ilyen egyenletek például a Johnson-Cook féle folyási feszültség és az Oxley egyenlet. Kis fogásmélységek esetén azonban már nem tekinthető homogénnek az anyag sem a fázisok tekintetében, sem pedig az egyes fázisok kristálytani irányítottságát tekintetében.

Az anyagszétválás modellezése szintén problémát jelent. Gyakran egy előre definiált elemsor elemeinek törlésével oldják meg a szétválási problémát, de ez a módszer nem alkalmazható éllekeredéssel rendelkező éleknél, mert nem lehet tudni egzaktul, hogy hol kell szeparálódnia az anyagnak. Ez téves elem-törlést okozhat.

Klocke [10] alkalmazott vége-selemes szimulációt, hogy növelje wiper-élel rendelkező szerszámok éltartamát az él mentén változó homlokszög alkalmazásával. Az éltartamot úgy sikerült növelni, hogy a szerszám kontaktfelületének hőmérsékleteloszlását a homlokszög változtatásával még jobban eloszlatták, így csökkentve a maximális hőmérsékletet.

A változó mikrogeometriát Özel [12] is vizsgálta. Arra a megállapításra jutott, hogy a változó geometria alkalmazásával csökkenthető a forgácsolási hőmérséklet és a forgácsolási erő.

Az előzőek alapján érdemes lehet a geometriát a terhelés függvényében is változtatni. Ezt alátámasztja az is, hogy a gyakran alkalmazott hátkopás, mint éltartam kritérium úgy van megadva, hogy ha bármely helyen eléri a maximális értékét, akkor a szerszám elhasználódott. A megfigyelések szerint a legnagyobb hátkopás a leginkább terhelt élszakaszon jelentkezik, mellette már kisebb. Ez azt jelenti, hogy a kevésbé terhelt részekben növelhető lenne a homlokszög értéke, hiszen az éltartamnak van még tartaléka. Az 1. ábrán az előbbi elképzelés szerinti élet láthatjuk.



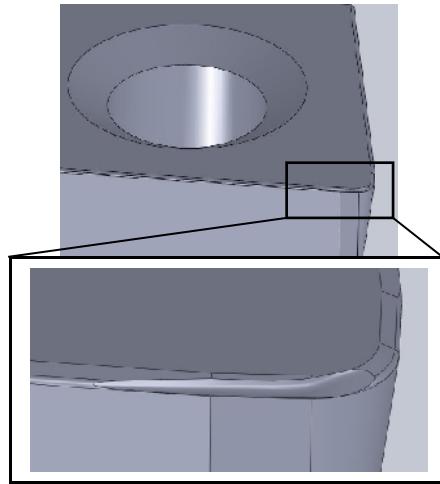
1. ábra Él mentén változó szerszámmetszet

## A GEOMETRIA MODELLEZÉSE

A legtöbb forgácsoló él csupán néhány paraméter segítségével teljesen definiálható, úgymint a homlokszög, hátszög, csúcsgugár, éllekeredési sugár. Egy általános geometria egy általános translációs felülettel definiálható. Ilyen felületek 3D CAD programokban könnyen előállíthatók.

A legtöbb 3D CAD program parametrikus modellezést alkalmaz, ami könnyebbé teszi a geometria módosítását.

Változó geometriájú forgácsoló élet definiáltunk egy CAD programban. Először egy forgalomban kapható wiper éllel rendelkező lapkát modelleztünk. Ezt a lapkát módosítottuk a későbbiekben. A modellezés során a forgácsoló él mentén különböző metszeteket készítettünk. Ezekben a metszetekben definiáltunk különböző homlokszögeket. A metszeteket egy felületté fűztük össze és használtuk fel, hogy az eredeti lapkából kivágjuk egy részt. Az így kapott geometria látható a... ábrán.



2. ábra A módosított szerszámgeometria CAD modellje

A metszetekben a homlokszögek az aktuális forgácsvastagság függvényében lettek megválasztva. A kisebb terhelésű szakaszokon növekvő homlokszögeket alkalmaztunk. A kis terheltségű szakaszon a gyártástechnológiai okok miatt csak  $0^\circ$  homlokszöveget írtunk elő, azonban ez még növelhető.

A geometriát CAM programba importáltuk, mely előállította a mikro-szikraforgácsoló marás szerszám pályáját.

## PCBN MIKRO-SZIKRAFORGÁCSOLÓ MARÁSA

A különböző anyagok szikraforgácsolhatóságára jellemző számot tekintve, a pCBN anyag –feltéve, ha vezető- jól szikraforgácsolható.

Annak ellenére, hogy a CBN anyag elektromosan nem vezető, szinterelésekor sokszor vezető anyagot alkalmaznak kötőfázisként. A szikrakisülés így már lehetségessé válik és a nemvezető CBN szemcsébe a kisülési energia hője hővezetés formájában jut be és olvasztja meg a CBN szemcsét. Egy másik elmélet szerint a szikrakisülés csak a kötőanyagot olvasztja meg és a plazmacsatorna összeomlása keltette lökéshullám mozdítja ki a helyéből a CBN szemcsét. Az előző elképzelés valószínűleg jobb felületi minőséget eredményezhet, mint a második.

A mikro-szikraforgácsolásnál fontos a szikraforgácsolási paraméterek jó megválasztása, mert túl kicsi energiával nem jön létre anyagleválasztás, nagyobb energiával pedig rossz felületi minőség áll elő, habár a felületi minőség javítható a pCBN szemcseméretének csökkentésével.

A mikro-szikraforgácsoló marás kinematikája leginkább a 2.5D maráshoz hasonlít. Habár, a szerszám 3D pálya mentén mozgatható, a technológia szempontjából előnyösebb a rétegenkénti leválasztás. A szerzők által használt szikraforgácsoló gép CNC vezérelt, a bonyolult szerszám pálya előállításáról CAM program gondoskodik.

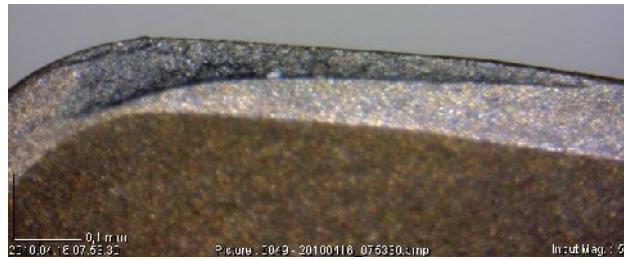
A szikraforgácsolási paraméterek meghatározásához kísérleteket végeztünk. A kísérletek között legjobb felületi minőséget adó paraméterek táblázata alább látható ().

Parameter:	Value
Voltage	80V
Maximum current	80A
Frequency	160kHz
Impulse time	1 $\mu$ s
Electrode diameter:	0.03mm
Increment	0.001mm

1. Táblázat. Szikraforgácsolási paraméterek

A módosított geometriát egy Sumitomo CCMW09T304W lapkán alkalmaztuk. Ennek a lapkának a csúcssugara 0.4mm.

A lapka anyaga a gyártó jelölése szerint BNX20. Ez TiC kötőfázist jelent. Korábbi kísérletek azt mutatják, hogy ez az összetétel jól szikraforgácsolható.



3. ábra Az elkészített lapka

## FORGÁCSOLÁSI KÍSÉRLETEK

Az elkészült lapkát forgácsolási kísérletekkel teszteltük. A forgácsolás közben mértük a fellépő forgácsoló erőket. A kísérletek egy Hembrug Slantbed 50 CNC esztergán kerültek kivitelezésre.

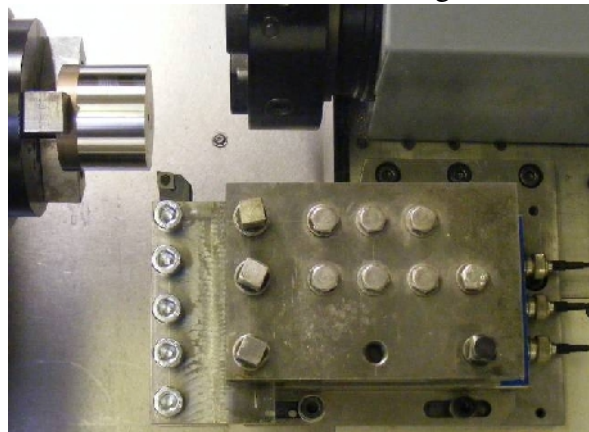
Az erőmérést egy Kistler 9257 háromkomponensű erőmérővel végeztük. Az adatgyűjtésről egy National Instruments 6024E I/O kártya gondoskodott 1000Hz mintavételezési frekvenciával.

A munkadarab anyaga Uddeholm Rigor hidegalakító szerszámacél volt, melynek keménysége 62HRC körül volt. Kémiai összetétele az alábbi táblázatban látható.

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1%	0.3%	0.6%	5.3%	1.1%	0.2%

2. Táblázat. A munkadarab anyagának vegyi összetétele

A kísérleti elrendezés 4. ábrán látható. Az erőmérő nagy tömege miatt a nagyfrekvenciás rezgések vizsgálatától eltekintettünk, csak a statikusnak tekinthető forgácsoló erőt vizsgáltuk.



4. ábra Mérési elrendezés

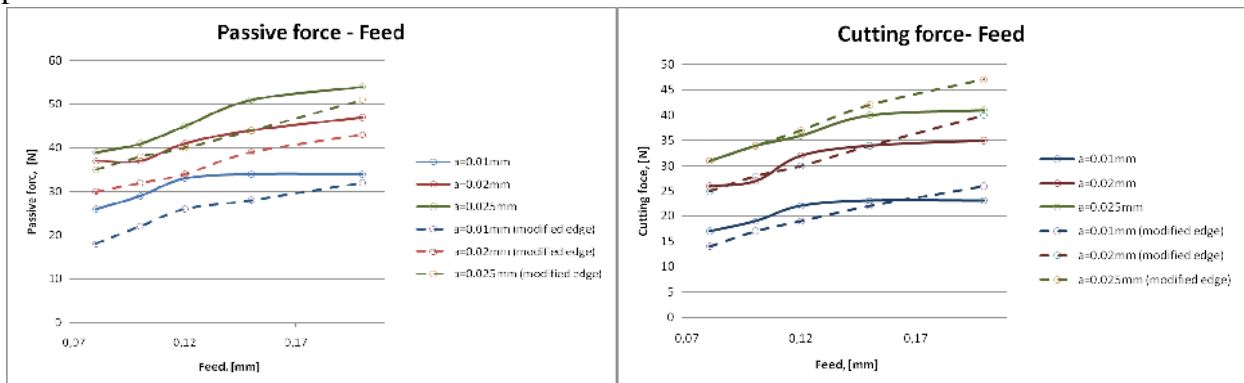
A forgácsoló sebességet 200m/min értékűre választottuk. Három különböző fogásmélység és 5 előtolás értéknél végeztünk forgácsolást (3. táblázat)

Depth of cut, [mm]		0.01	0.02	0.025	
Feed, [mm]	0.08	0.1	0.12	0.15	0.2

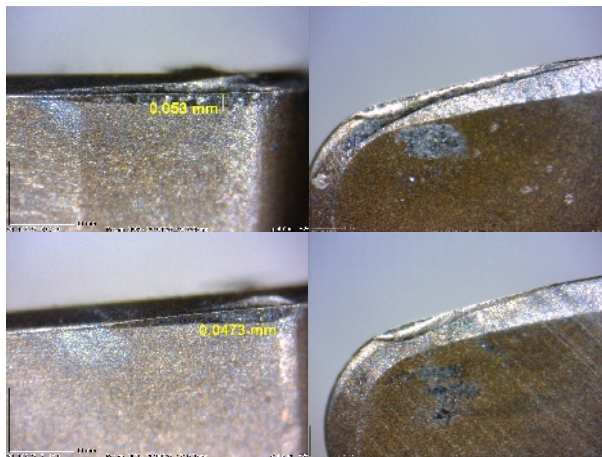
3. Táblázat: Forgácsolási paraméterek

## EREDMÉNYEK

Az erőmérési eredmények tisztán mutatják, hogy a módosított geometria alkalmazásával csökkent a passzív erő.

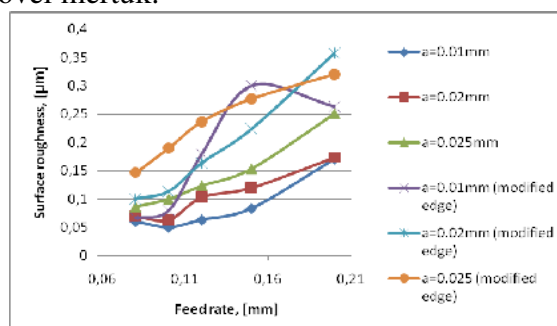


5. Ábra: A passzív erő és a fő forgácsoló erő az előtolás függvényében



6. Ábra: Szerszámkopás a módosított lapkán és az eredeti lapkán

A szerszámkopást optikai mikroszkóppal vizsgáltuk. Az elkészült felületeket egy Taylor Hobson Surtronic Duo érdességmérővel mértük.



7. ábra A felületi érdesség az előtolás függvényében

## KONKLÚZIÓ

A diagramok alapján elmondható, hogy a módosított forgácsoló lapkát alkalmazva, csökkent a passzív erő hagyományos élezési móddal készített lapkához képest ugyanolyan forgácsolási paraméterek mellett. A passzív erő a várakozásainknak megfelelően csökkent. A fő forgácsoló erő és előtoló erő viszont kisebb mértékben változott. A fő forgácsoló erő a nagyobb előtolásoknál nagyobbak bizonyult.

Az új geometria esetében a felületi minőség megváltozott. Ennek a magyarázata mélyebb elemzést és több kísérletet igényel, túlmutat a jelenlegi vizsgálatainkon. A szerszámkopás vizsgálatokor nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a módosított és eredeti lapkával forgácsolt felületek között.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatalnak (NKTH) a TECH\_08\_A2-DL\_BME\_UP számú projektben nyújtott anyagi támogatásért.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] optical quality by hard turning, PhD Thesis, Cranfield University, School of Industrial and Manufacturing Science,
- [2] H. K.Tonshoff, C. Arendt, R. Ben Amor: Cutting of Hardened Steel, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 49, Issue 2, 2000, pp. 547-566
- [3] Li Qian, Mohammad Robiul Hossan: Effect on cutting force in turning hardened tool steels with cubic boron nitride inserts, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 191, 2007, pp. 274-278
- [4] M.A. Davies, Y. Chou, C.J. Evans: On chip morphology, Tool Wear and Cutting Mechanics in Finish Hard Turning, CIRP Annals - Manufacturing Technology Volume 45, Issue 1, 1996, pp. 77-82
- [5] J.M. Zhou, H. Walter, M. Andersson, J.E. Stahl: Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 43, 2003, pp. 301-305
- [6] Jeffrey D. Thiele, Shreyes N. Melkote: Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 94, 1999, pp. 216-226
- [7] Tugrul Özel, Tsu-Kong Hsu, Erol Zeren: Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened H13 steel, Int. J. Adv. Manuf. Technol, Vol. 25, 2005, pp. 262-269
- [8] Y. Kevin Chou, Hui Song: Tool nose radius effects on finish hard turning, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 148, 2004, pp. 259-268
- [9] I. Mészáros, D. Szepesi: Optimisation of Finish Hard Turning, Proceedings of the 6th International Conference EUSPEN, May 28-June 1., 2006, Baden Austria, pp. 100-104
- [10] F. Klocke, H. Kratz: Advanced Tool Edge Geometry for High Precision Hard Turning, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 54, Issue 1, 2005, pp. 47-50
- [11] J.-P. Kruth, Non-conventional Machining "Technologies, part I, V.T.K., Leuven, Belgium, 1993 (in Dutch)
- [12] T. Özel, Y. Karpat, A. Srivastava: Hard turning with variable micro-geometry PcBN tools, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 57, Issue 1, 2008, Pages 73-76