

# KEMÉNYFELÜLETEK BEFEJEZŐ MEGMUNKÁLÁSI ELJÁRÁSAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA AZ ANYAGLEVÁLASZTÁSI TELJESÍTMÉNY ALAPJÁN

## COMPARATIVE EXAMINATION OF FINISHING PROCESSES OF HARDENED SURFACES ON THE BASIS OF MATERIAL REMOVAL PERFORMANCE

*Kundrák János DSc, Gyáni Károly, Deszpoth István, Miskolci Egyetem*

### ABSTRACT

*It is expedient to compare the economy of the processes applied for hard machining – like abrasive machining and the ones with definite edges – on the basis of the material removal rates.*

*This paper focuses on analysis of three machining process by which the given workpieces are completed with equal quality requirements. It examines and compares the economic efficiency of grinding, turning and the combined processes on the basis of process times, surface rate and material removal rate.*

*Keywords: alternative procedures, operation time, material removal rate (MRR), surface rate (SR)*

### 1. BEVEZETÉS

Kemény felületek megmunkálásánál az optimális eljárás kiválasztásának előfeltétele az alkalmazható eljárások - az abrázió, a határozott élű és ezek kombinációjával létrejövő megmunkálások – összehasonlító vizsgálata. Egyre gyakoribb követelmény a beépített alkatrészekenél, hogy pontosságuk mellett növekedjen élettartamuk is.

Az alkatrészek tartósságának növelése ezért egyre keményebb és egyre több keményfelület kialakításával is együtt jár. De megfigyelhető, hogy egyre gyakrabban edzik a felületeket a gyártási lánc rövidítésére (a technológiai folyamat egyszerűsítéséhez) is.

A gyártási láncban az edzést általában befejező megmunkálás követi, melynek eredményeképp kialakul az alkatrész végső geometriája.

A kemény felületek befejező megmunkálására elsősorban a köszörülés, a keményesztergálás illetve a két eljárás kombinálása ad lehetőséget.

Ezen megmunkálási változatok műszaki-gazdaságossági alapokon történő összehasonlítása és az optimális kiválasztása gyártástervezési feladat.

Korábban mások [1, 2] és mi [3, 4, 5] is vizsgáltuk azokat a technológiai feltételeket, amelyek mellett a köszörülés és a keményesztergálás adott művelet elvégzésére egymás alternatívájaként alkalmasak lehetnek.

Azon megmunkáló eljárásokat tekinthetjük egymás alternatíváinak, amelyekkel a vizsgált alkatrész pontosságára és minőségére vonatkozó minden előírás teljesíthető.

A cikkben olyan vizsgálatokat ismertetünk, amelyek arra irányultak, hogy a választott alternatív eljárásokkal milyen gazdasági hatékonysággal teljesíthetőek az alkatrészre előírt, minőségi követelmények.

A megmunkálási eljárások hatékonyságát a felületképzési sebesség, a műveleti idők, és az anyagleválasztási sebesség alapján elemeztük.

### 2. AZ ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK

A leggyakrabban vizsgált keménymegmunkáló eljárások: a köszörülés, a keményesztergálás és a kombinált eljárás.

A **köszörülés** (oldal-előtölösos köszörülés) a keményfelületek befejező megmunkálásánál a gépipari alkatrészek között azért foglalt el meghatározó szerepet, mert keményfelületeket nagy pontossággal és kis érdességgel való megmunkálása az esetek többségében csak ezzel az eljárással volt biztosítható. Számos előnye mellett egyik hátránya, hogy a környezetet jelentősen terhelő megmunkálások közé tartozik. A nagymennyiségű hűtő-kenő folyadék felhasználás miatt szennyezi a környezetet, károsítja a dolgozók egészségét és emellett még a műveleti költségek is jelentősen magasabbak. A köszörülés drága szerszámokat és segédanyagokat (pl. szabályozó gyémánt) igényel, a keletkező iszap és elhasznált hűtő-kenő folyadék veszélyes hulladéknak minősül.

A keménymegmunkálások másik eljárása, mely napjainkban egyre inkább terjed, a keményesztergálás. Az alkalmazás rohamos növekedése különösen tárcsaszerű alkatrészek valamint különböző furatok megmunkálásánál figyelhető meg. A keményesztergálás kevésbé terheli a környezetet. Ökológiai szempontokból sokkal kedvezőbb képet mutat, mint a köszörülés, mivel ezek a kedvezőtlen hatások nem jelentkeznek. Hűtő-kenő folyadék nélkül végezhető a megmunkálás. A keletkezett forgács a munkadarab anyagával azonos, így könnyen reciklizálható. A munkadaraboknak köszörüléssel azonos minősége mellett, teljesen környezetbarát, tiszta,

higiénikus, emellett a környezet terhelést csökkentő megmunkálása valósítható meg keményesztergálással. A harmadik eljárás a kombinált eljárás. A nagyolást keményesztergálással, a simítást köszörüléssel végezzük. A hagyományos eljárásokhoz képest lényeges különbség, hogy egy gépen egy felfogásban és egy műveletben végezzük a megmunkálást. Ezért a simításra kisebb lehet a ráhagyás. Ezáltal nő a pontosság, megszűnik a periodikus topográfia, egyszóval biztosított az alkatrész kiváló minősége. Jelentős eltérés még az is, hogy a nagyteljesítményű kombinált gépek a termelékenyebb beszűrő köszörüléssel dolgoznak. A ráhagyás minél nagyobb részét tudjuk az első lépésben leválasztani, a keményesztergálás előnyeiből (anyagleválasztási sebesség, költségek, felületi réteg állapota, stb.), annál kevesebbet használunk az újra megjelenő hűtő-kenő folyadékából. A köszörülés előnyei már igen kis ráhagyás eltávolításakor megjelennek. Az egy befogás előnye alapján többféle kombinált eljárást is alkalmazhatunk.

### 3. KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK

A kísérleteket IT5-IT6 pontosságú furatok megmunkálására végeztük, amikor  $R_z=5 \mu\text{m}$  felületi érdességet kellett biztosítani.

#### 3.1. A vizsgált eljárások

A következők voltak a vizsgálatba bevont eljárások, amelyekkel biztosítani lehetett az előírt felület minőségét és pontosságát:

- hosszelőtölésos köszörülés korund koronggal (**GR-A**)
- keményesztergálás: nagyolás és simítás standard lapkával (**HT-S**)
- keményesztergálás nagyolás wiper, simítás standard lapkával (**HT-W+S**)
- kombinált eljárás: nagyolás standard lapkával, simítás korund koronggal (**CO-S+A**)
- kombinált eljárás: nagyolás wiper lapkával, simítás korund koronggal (**CO-W+A**)
- kombinált eljárás: nagyolás standard lapkával, simítás CBN koronggal (**CO-S+B**)
- kombinált eljárás: nagyolás wiper lapkával, simítás CBN koronggal (**CO-W+B**)

#### 3.2. A vizsgált munkadarabok és megmunkálások technológiai jellemzői

Két, különböző átmérőjű, azonos hosszúságú furatot munkáltunk meg. A munkadarab adatai a következők voltak:

anyag:	16MnCr5;
keménység:	61...63HRC;
átmérő:	d=48 ( <b>A</b> jelű) d=66 ( <b>B</b> jelű);
pontosság:	IT5...6;
furathossz:	27,35 mm;
ℓ/d viszony:	0,41...0,57;
eltávolítandó ráhagyás:	0,3 mm (átmérőben);
sorozatnagyság:	200 db.

A 0,15 mm ráhagyásból nagyolással 0,1 mm-t, simítással 0,05 mm-t távolítottunk el. A jellemző technológiai adatokat az 1. táblázatban foglaltuk össze.

#### 3.3. Az összehasonlítás mérőszámai

Az anyagleválasztás elvében jelentősen különböző, de azonos célú eljárások - mint az abrazív és a határozott élű megmunkálások - gazdaságosságának összehasonlítását célszerű az anyagleválasztási ráták alapján elvégezni.

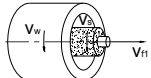
A mérőszámok elméleti értékeinek számításánál régóta használják a képződött/eltávolított felület és/vagy a leválasztott térfogat időegységre vonatkoztatott értékét, elsősorban egy eljárás különböző lehetséges forgácsolási adatainak felhasználásával [6, 7].

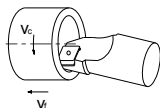
Ezek a mérőszámok a következők (2. táblázat):  
anyagleválasztási sebesség (MRR)  $Q_w$  (mm<sup>3</sup>/s);  
felületképzési sebesség (SR)  $A_w$  (mm<sup>2</sup>/s)

Ezeket a mérőszámokat korábban is vizsgáltuk [8, 9, 10], és rámutattunk, hogy az eljárások összehasonlításának pontosabbá tételéhez korrigált („gyakorlati”) értelmezésre van szükség.

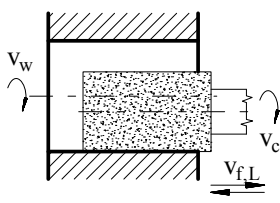
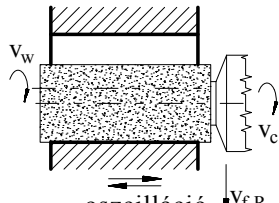
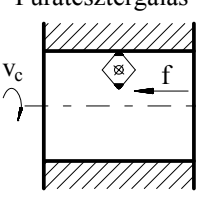
Ezek a gyakorlati paraméterek (2. táblázat) azt fejezik ki, hogy adott megmunkálási eljárással egy szekundum alatt hány mm<sup>2</sup> felületet lehet készíteni, ill. hány mm<sup>3</sup> anyagot lehet eltávolítani az előírt pontossági, felületminőségi körülmények között.

1. táblázat. Technológiai adatok

Eljárás	Szerszámgép / Szerszám	Technológiai adatok	
		Nagyolás	Simítás
<b>Köszörülés</b> 	SI-4/A 40x40x16-9A80-K7V22	$v_c=25\div 29 \text{ m/s}$ $v_w=14\div 19 \text{ m/min}$ $v_{f,L}=2.2 \text{ m/min}$	$v_c=25\div 29 \text{ m/s}$ $v_w=14\div 19 \text{ m/min}$ $v_{f,L}=2 \text{ m/min}$

<b>Kemény-esztergálás</b> 	PITTLER PVSL-2 CNGA 120408S-LO CBN CNGA 120408 7020	$v_c=180$ m/min $f=0.08\div 0.15$ mm/ford. $a_p=0.10$ mm	$v_c=180$ m/min $f=0.12\div 0.24$ mm/ford. $a_p=0.05$ mm
<b>Kombinált eljárás</b>	EMAG VSC 400 DS CNGA 120408S-LO CBN 40x40x16-9A80-K7V22	$v_c=180$ m/min $f=0.24$ mm/ford. $a_p=0.1$ mm $v_{f,R}=0.0033$ mm/s	$v_c=40\div 45$ m/s $v_w=45\div 119$ m/min $v_{f,R}=0.0016$ mm/s

2. táblázat. Anyagleválasztási sebesség és felületképzési sebesség számítása

Eljárások	Furatköszörülés	Beszűrő furatköszörülés	Furatesztergálás
			
Anyagleválasztási sebesség elméleti értéke $Q_w$ [mm <sup>3</sup> /s]	$Q_w = a_e \cdot f \cdot v_w$	$Q_{w,elm,N} = L_3 \cdot v_{f,R} \cdot d_1 \cdot \pi$	$Q_w = a_p \cdot f \cdot v_c$
Anyagleválasztási sebesség gyakorlati értéke $Q_{wp}$ [mm <sup>3</sup> /s]	$Q_{wp} = \frac{d_1 \cdot \pi \cdot L_3 \cdot Z}{t_{op} \cdot 60}$		
Felületképzési sebesség elméleti értéke $A_w$ [mm <sup>2</sup> /s]	$A_w = f \cdot v_w$	$A_w = L_3 \cdot v_w$	$A_w = f \cdot v_c$
Felületképzési sebesség gyakorlati értéke $A_{wp}$ [mm <sup>2</sup> /s]	$A_{wp} = \frac{d_1 \cdot \pi \cdot L_3}{t_{műv} \cdot 60}$		
Műveleti idő $t_{műv}$ [min]	$t_{műv} = \frac{t_{előkészületi}}{n} + t_{darab}$		

ahol:

- $a_e$  – fogásmélység (mm); (köszörülés);
- $a_p$  – fogásmélység (mm); (esztergálás);
- $v_w$  – munkadarab sebessége (mm/s);
- $v_{f,R}$  – beszűrő sebesség (mm/s);

- $v_c$  – forgácsoló sebesség (mm/s ill. m/min);
- $f$  – előtolás (mm/mdb.ford.);
- $d_1$  – munkadarab átmérő (mm);
- $L_3$  – forgácsolt hossz (mm);
- $t_{műv}$  – műveleti idő (min).

Az anyagleválasztási paraméter gyakorlati értékét ( $Q_{wp}$ ) úgy számoljuk, hogy a ráhagyás anyagtérfogatát osztjuk a leválasztásához szükséges idővel:

$$Q_{wp} = \frac{d_1 \cdot \pi \cdot L_3 \cdot 0,3}{t_x \cdot 60} \text{ (mm}^3\text{/s).} \quad (1)$$

A felületképzési paraméter gyakorlati értékét ( $A_{wp}$ ) úgy számoljuk, hogy az elkészítendő felület nagyságát osztjuk az elkészítéshez szükséges idővel:

$$A_{wp} = \frac{d_1 \cdot \pi \cdot L_3}{t_x \cdot 60} \text{ (mm}^2\text{/s).} \quad (2)$$

Az (1) és (2) képletben szereplő  $t_x$  bármely kiválasztott normatív időadat lehet, jelenleg a  $t_{op}$  műveleti idővel számolunk. A gyakorlati paraméterek korábbi elemzése [8, 9] bizonyította, hogy ezekkel kifejezhetjük az anyagleválasztás hatékonyságát, és összhangban vannak a tényleges megmunkálási idővel és költségekkel.

Ezért most vizsgálataink a gyakorlati értékek meghatározására irányultak, és az összehasonlításokat a műveleti időre vonatkoztatott -  $Q_{wp,műveleti}$  (mm<sup>3</sup>/s),  $A_{wp,műveleti}$  (mm<sup>2</sup>/s) – mérőszámok alapján készítettük el.

#### 4. EREDMÉNYEK

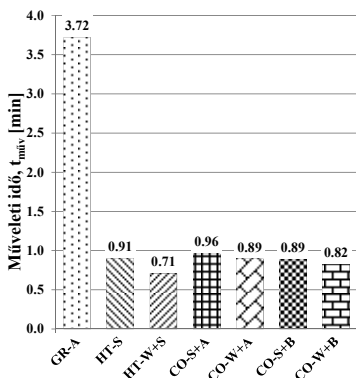
Hét lehetséges variációval (1. 3.1. pontnál) munkáltuk meg a kétféle átmérőjű (A és B jelű) furatot. A műveleti időket, majd a felületképzési sebesség és az anyagleválasztási sebesség gyakorlati értékét határoztuk meg.

A leghosszabb a műveleti ideje a hagyományos hosszeltolósos köszörülésnek. Kemény-esztergálással negyedére csökken a 48 mm átmérőjű furat műveleti ideje, mely tovább csökkenthető wiper lapkák alkalmazásával (1. ábra). A műveleti idő között a különbség csökken az átmérő növekedésével, de a 68 mm átmérőjű furat (2. ábra) megmunkálásakor még mindig csak harmada a kemény esztergálásé a köszörülésnek.

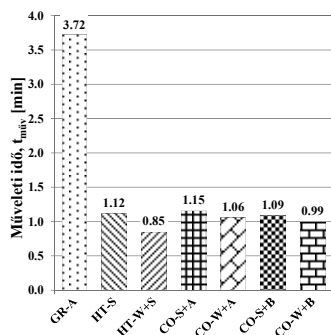
A műveleti időben azért lehet ilyen különbség, mert a felületképzési sebesség és az anyagleválasztási teljesítmény kemény-esztergálásnál lényegesen nagyobb.

A felületképzési sebesség a kisebb átmérőnél több mint négyszeres, ami wiper lapka alkalmazásával több mint ötszörös lehet (3. ábra). Az átmérő növekedésével csökken a felületképzési sebesség különbsége 3.3-szorosra, amely 4.6-szeresre növelhető wiper lapka alkalmazásával. Hasonlóak az arányok az anyagleválasztási teljesítményeknél is (5. és 6. ábra).

Ez egyértelműen bizonyítja a keményesztergálás előnyét. Elsősorban azért, mert termelékenysége többszöröse a köszörülésnek, műveleti önköltsége pedig sokkal kisebb, és környezetbarát technológia. Mindezek mellett a pontossági, érdességi és felületminőségi paramétereket is biztosítja ugyanolyan szinten, mint a köszörülés.



1. ábra. Műveleti idő a különböző eljárásoknál, az A jelű darabnál

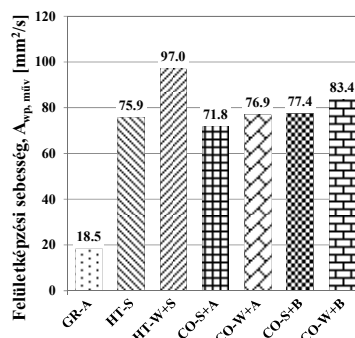


2. ábra. Műveleti idő a különböző eljárásoknál, a B jelű darabnál

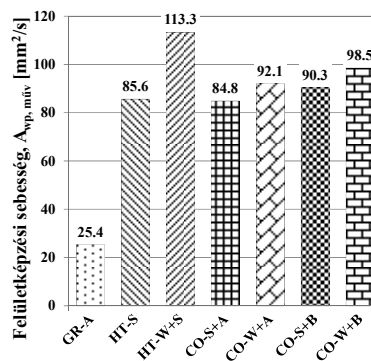
A befejező megmunkálásban azonban nem mindig a határozott élgeometriájú szerszámmal végzett művelet a legelőnyösebb.

Ha az alkatrészsel szemben támasztott működési követelmények köszörült topográfiát követelnek meg, akkor célszerű olyan befejező művelet megválasztása, amelynél a gazdasági hatékonyság is biztosítható.

Ennek feltétele, hogy a leválasztandó anyag (ráhagyás) minél nagyobb részét válasszuk le esztergálással, s csak a topográfia kialakításához minimálisan szükséges ráhagyást köszörüljük.



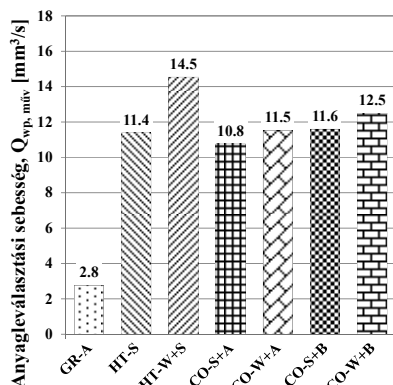
3. ábra. A felületképzési sebesség a műveleti idő alapján ( $A_{wp, mv}$  műveleti), az A jelű darabnál



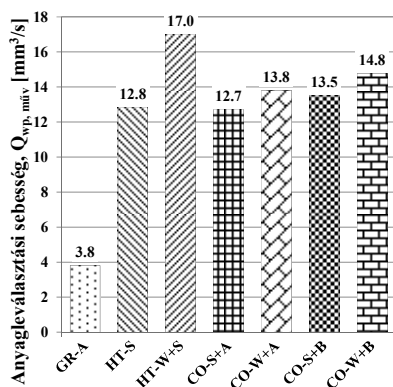
4. ábra. A felületképzési sebesség a műveleti idő alapján ( $A_{wp, mv}$  műveleti), a B jelű darabnál

Ha hagyományos módon oldjuk meg, akkor a több szerzámgép és a több befogás alkalmazása miatt a gazdasági hatékonyság nem lesz lényegesen jobb ahhoz képest, ha csak a köszörülést alkalmaznánk.

Ekkor kerülnek előtérbe a kombinált vagy hibrid megmunkálások, amelyeket az is jellemez, hogy nem igényelnek külön szerzámgépet, hanem a keményesztergálással együtt ugyanazon gépen kerül kivitelezésre a köszörülés is. Az 1.-6. ábrákból látható, hogy az alkalmazott eljárásokkal a standard lapkával végzett keményesztergáláshoz hasonló gazdasági hatékonyság érhető el köszörült topográfia létrehozásakor is.



5. ábra. Az anyagleválasztási sebesség a műveleti idő alapján, az A jelű darabnál



6. ábra

Az anyagleválasztási sebesség a műveleti idő alapján, a B jelű darabnál

## KÖVETKEZTETÉS

A keménysztergálás és a köszörülés összehasonlítása furat-megmunkálás esetében, a gazdasági hatékonyság a keménysztergálás jelentős fölényét mutatta a köszörüléssel szemben. Az anyagleválasztási sebesség és a felületképzési sebesség gyakorlati értéke jól mutatja a meglévő különbségeket, ezért alkalmas alternatív megmunkálási eljárások összehasonlítására.

Jelenleg a legtöbb esetben megvannak a technikai és technológiai feltételei annak, hogy a keménysztergálás helyettesítse a köszörülést.

Vannak olyan esetek azonban, amikor a működési feltételek köszörült topográfiát igényelnek. A legfőbb indíték a periodikus topográfia elkerülése, mert ez nem előnyös a tömítő felületeknél, a csapágyhelyeknél és pl. sebességváltókban a szinkronizáló kúpoknál sem.

Ekkor az ún. kombinált (hibrid) megmunkálás alkalmazása javasolható. Ez olyan hibrid gép alkalmazását jelenti, amelyen egy befogásban, egy gépen készülnek a darabok az esztergaszerszámok és/vagy köszörűszerszámok szükség szerinti automatikus beváltásával.

Vizsgálataink azt bizonyították, hogy a kombinált eljárásokkal a keménysztergáláshoz hasonló gazdasági hatékonyság érhető el.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a cikk a magyar Országos Tudományos Kutatási Alapítvány (OTKA) támogatásával készült. A megbízás száma: **OTKA K 78482**.

A **TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001** „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” című projekt támogatásával. „A projekt az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében- az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.” Köszönetet mondunk a támogatásért.

## IRODALOM

- [1] Tönshoff H. K. – Arendt C. – Ben Amor R.: Cutting of hardened Steel, *Annals of the CIRP*, Vol. 49/2/2000, pp.547-566. (ISBN 3-905-277-34-4)
- [2] Klocke, Brinksmeier, Wiessert: Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes, *Annals of the CIRP* Vol. 54/2 (2005) pp.557-580.
- [3] Kunderák J, Mamalis AG, Markopoulos A: Finishing of hardened boreholes: Grinding or hard cutting? *Materials and Manufacturing Processes* 19 (6): pp.979-993 2004
- [4] J. Kunderák, A. G. Mamalis, K. Gyáni, V. Bana: Surface layer microhardness changes with high-speed, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*: Volume 53, Issue 1-4 (2011), pp.105-112
- [5] Kunderák, J; Karpuschewski, B; Gyáni, K, et al: Accuracy of hard turning *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 202 Is. 1-3 pp.328-338 2008:
- [6] Rowe, W.B., Li, Y., Chen, X., Mills, B., An intelligent multi-agent approach for selection of grinding conditions, *Annals of the CIRP*, 46/1 1997, pp.233-238.
- [7] Gopal, A.V., Rao, P.V., Selection of optimum conditions for maximum material removal rate with surface finish and damage as constraints in SiC grinding, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43/13 pp.1327-1336. 2003
- [8] Kunderák J. Deszpoth I.: Material Removal Rate and Surface Rate in Turning and Grinding Bore-Holes, *Proc. on the XV<sup>th</sup> microCAD 2007*, Kharkov, Ukraine, May 17-18 2007 pp.110-121, 2007 (ISBN978-966-8944-35-2)
- [9] Tóth, T; Kunderák, J; Gyáni, K: The removal rate as a parameter of qualification for hard turning and grinding, *Tools and Methods of Competitive Engineering* Vol. 1 and 2, Apr. 13-17, 2004 Lausanne Switzerland, pp.629-639, 2004
- [10] Kunderák J., Tóth T., Gyáni K.: How to make a choice of machining methods on the basis of economy: comparison between hard turning and grinding, *The Eleventh International Conference on Machine Design and Production*, Conf. proc. 13-15 October 2004, Antalya, Turkey Matimaren, pp.31-45