

A FORGÁCSLEVÁLASZTÁS JELLEGZETESSÉGEINEK VIZSGÁLATA KEMÉNYESZTERGÁLÁS ESETÉN

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF CHIP REMOVAL IN HARD TURNING

Szabó Gergely

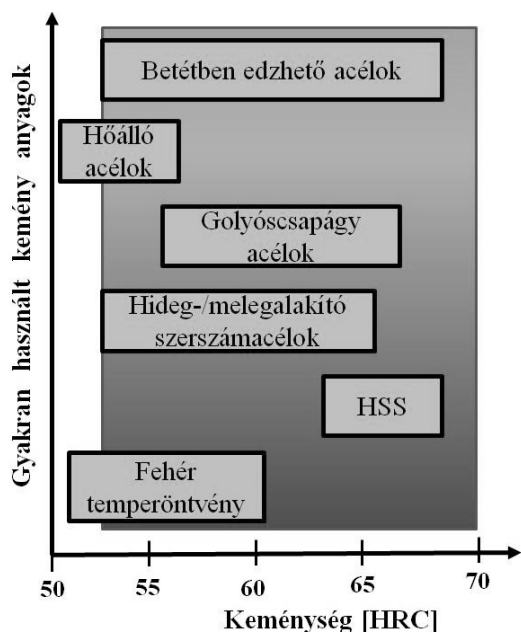
Miskolci Egyetem- Gépgyártástechnológiai Tanszék

ABSTRACT

This paper shows the connection between the chip segmentation morphology and cutting data in case of orthogonal hard turning process. Our experiment results are from simulation from the simulation by the means Finite Element Method (FEM). With FEM we researched the phenomena of catastrophic adiabatic shear as well as the „sawtooth“ chip forming mechanism.

1. BEVEZETÉS

A gépiparban nagy jelentősége van a különböző gép-
elemek megnövelt kopásállóságának és élettartamának. Acélok esetén ennek egyik teljesítési módja, ha az alkat-
részekben a kemény, edzett felületek számát növeljük. A gépiparban leggyakrabban használt kemény anyagokat az 1. ábra mutatja be. A munkadarab anyagát edzettnek tekintjük, ha keménysége >50 HRC [1].

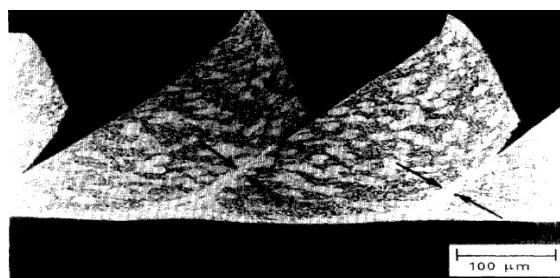


1. ábra. A leggyakrabban használt kemény anyagok a gépiparban [2]

Az edzett munkadarabok különféle befejező megmun-
káló eljárásai közül a geometriailag határozott éllel
rendelkező keménysztergálás az egyik leghatékonyabb.
Keménymegmunkáláskor a szerszámnak negatív hom-
lokszögű és a szerszámél további megerősítéséhez
még negatív fazettával is kell rendelkeznie. A befejező
megmunkáláskor a fogásmélység kicsi, de a fazetta
viszonylag széles, ezért a meghatározóforgácsolóerő-
komponens a passzív erő (F_p) [1, 2,3, 12, 13]. Hatá-
rozott éllel rendelkező szerszámmal végzett kemény esz-
tergáláskor különleges morfológiájú forgács válik le.
Ezen kialakulási morfológia összefüggésbe hozható a
többi forgácsolási folyamatjellemzővel, amelyek befo-
lyással lehetnek a megmunkált felület minőségére.

2. A FORGÁCSKÉPZŐDÉS MECHANIZMUSA

Keménysztergálás esetén a forgácsleválasztása a lágy
anyagokhoz képest különleges mechanizmus szerin-
t megy végbe. A különleges forgácsképződési mecha-
nizmus leírására többféle elmélet is létezik a szakiroda-
lomban. Ez a „fűrészfog“- képződés, amely a határozott
élű szerszámokkal végzett keménymegmunkálások
leggyakoribb forgácsalakja [4]. A szegmentált, fűrészfog
alakú forgács típusra példa a 2. ábrán látható.



2. ábra. Szegmentált forgács csiszolati képe [6]

Ennek afűrészfog alakú leválasztott forgácsnak a kiala-
kulási mechanizmusát az alábbiak szerint magyarázzák
[4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. A negatív szerszám homlokszög
nagy nyomó feszültséget okoz mind a szerszám anyag-
ban, mind a megmunkált anyagban. Ennek következté-
ben a megmunkált anyag a forgácsképződés során rész-

ben törnek, részben képlékeny válik és forgáccsá alakul. Nakayama[5] szerint a forgácsszegmens a munkadarab felületének az eredő forgácsoló erő irányvektorával párhuzamos felületszakaszán alakul ki. A repedés abban az esetben alakul ki, amikor a forgácstőben ébredő nyírófeszültség meg nem haladja a rá merőleges belső feszültségkomponenst. A felületen kialakult törésvonal a szerszámcsúcs irányába hatol mindaddig, amíg egy következő felületi repedés nem keletkezik a következő nyírási sík irányában a munkadarab külső felületén [5]. A repedési vonalak és a külső felület által határolt forgács szegmensként kitolódik és a forgácstőről szegmentált forgácsként törnek le. A Recht-féle elmélet [6] szerint a szegmentált forgács a katasztrofikus adiabatikus nyírás jelensége miatt alakul ki. Az anyag ridegsége miatt, köszönhetően a nagy nyomó feszültség hatására kezdetben a forgács nem megfolyik, hanem megreped. Ackerschott kutatásai [8] szerint a repedés felszabadítja a tárolt energiát, így az csúszó felületként működik és lehetővé teszi az anyagszegmens számára, hogy az kilöködjön a szétváló felületek között [8]. Egy forgács szegmensnek a repedés mentén való csúszása csökkenti a nyomófeszültséget, amíg a szerszám folyamatos mozgása miatt nem jön létre a következő repedés [7]. Egyidejűleg a képlékeny alakváltozás és a munkadarab felmelegedése megjelenik a szerszámlélénél. Az egyes forgács szegmensek a képlékenyen átalakult és magas hőfokra hevült anyag piciny hányada által kapcsolódnak egymáshoz. Ezáltal egy folytonos, szalagszerű forgácstípus alakul ki. [5, 6, 7, 8]

3. A FORGÁCSLEVÁLASZTÁS FOLYAMATÁNAK FEM- SZIMULÁCIÓJA

Napjainkban a fizikai folyamatok egyik hatékony vizsgálati- szimulációs eljárása a végeelem- módszer (FEM). A forgácstőben végbemenő képlékeny alakváltozás vizsgálatához rendelkezésre áll a forgácsolási folyamatokra optimalizált ThirdWaveAdvantEdge™ 5.3. programcsomag 2D-s változata. A 2D szimuláció esetében csak ortogonál síkban tudjuk vizsgálni a forgácsolási folyamatjellemzőket. Az általunk vizsgáltbetétedzett 16MnCr5 (62 HRC) anyagminőséghez meg kell találnunk a megfelelő „alakváltozás-feszültség” modellt, amelynek ki kell elégítenie két fontos követelménynek: nagy pontosság és viszonylagos matematikai egyszerűség számítási gyorsaság miatt. Az általunk használt munkadarab anyag viselkedésének leírására a Johnson-Cook egyenletet alkalmaztuk. Ez figyelembe veszi a hőmérséklet változását, valamint a hőérzékenység miatt várható képlékeny deformációt is [11, 12]. A Johnson-Cook egyenlet következő alakját használjuk [8]:

$$\sigma_{eq} = \left(A + B \cdot \epsilon^n \right) \cdot \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon_0} \right) \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right) \quad (1)$$

ahol σ_{eq} - az ekvivalens feszültség, ϵ - a képlékeny alakváltozás, $\dot{\epsilon}$ - a képlékeny alakváltozás sebessége, ϵ_0 - a

referencia képlékeny alakváltozási sebesség, T - a munkadarab hőmérséklete, T_{melt} - a munkadarab anyagának olvadási hőmérséklete, T_{room} - a megmunkálás környezetének hőmérséklete, A - a folyási határ, B - a szakítószilárdság, C - a képlékeny alakváltozási sebességre vonatkozó anyagállandó, n - a felkeményedési tényező, m - pedig a kilágyulási együttható. A munkadarab anyagminőségének Johnson-Cook féle paraméterei a következők: $\sigma_{eq}=400$ MPa; $A=588$ MPa; $B=680$ MPa; $C= 0,057$; $n=0,4$; $m=0,7$ [11]. A szimuláció bemenő paraméterei az 1. táblázatban vannak összefoglalva.

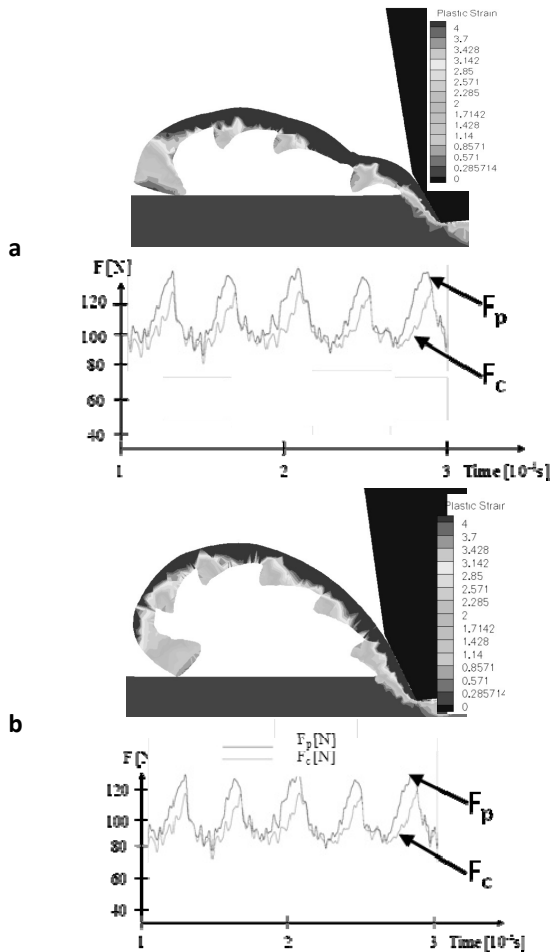
1. táblázat. A FEM- szimuláció során alkalmazott kiindulási alapadatok

A munkadarab adatai	
Vizsgálati hossz	5 mm
Vizsgálati mélység	3 mm
Munkadarab anyaga	16MnCr5
Munkadarab keménysége	62 HRC
A forgácsolószerszám adatai	
Homlokszög (γ_0)	-26°
Homlokfelület hossz	1.2 mm
Hátszög (α_0)	6°
Hátszög hossz	2 mm
Éllekerekítési sugár (r_β)	0,01 mm
Szerszámanyag	CBN
Forgácsolási adatok	
Fogásmélység (a_p)	0.1÷0.2 mm
Forgácsolt úthossz (l)	3 mm
Fordulatonkénti előtolás (f)	0.05÷0.2 mm/f
Forgácsoló sebesség (v_c)	90÷240 m/min
Coulomb-tényező (μ)	0,35
Hűtés-kenés	Nincs
Hálózási adatok	
Maximáliselemszám	24000
Maximális elemméret	0,1 mm
Minimális elemméret	0,01 mm

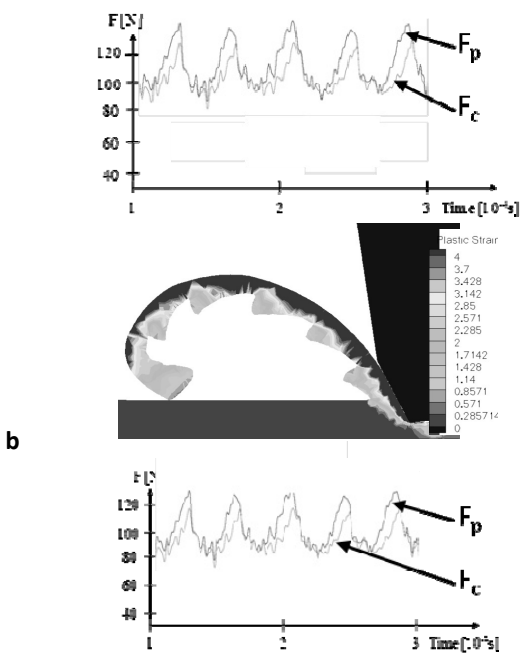
4. A FORGÁCSOLÓSEBESSÉG HATÁSA A FORGÁCS SZEGMENTÁCIÓRA ÉS A FORGÁCSOLÓERŐRE

Ebben a fejezet részben az adiabatikus képlékeny alakváltozást, a hozzá tartozó forgácsszegmentáció mértékével, valamint az ortogonál forgácsolás esetén értelmezhető két forgácsolóerőkomponenst mutatjuk be a forgácsolási adatok függvényében. A FEM futtatásokat az előző pontban foglalt feltételek szerint elvégezve összehasonlító vizsgálatra kerültek a különböző forgá-

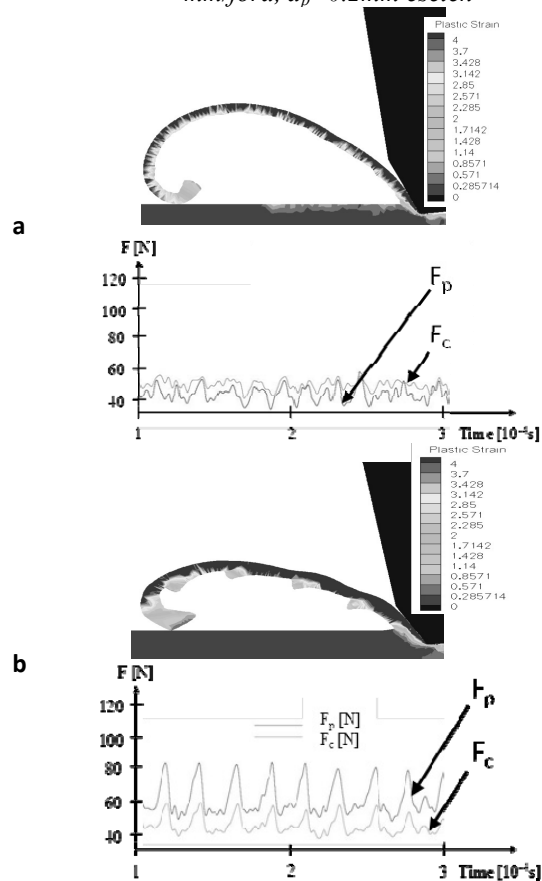
csolási adatokhoz tartozó képlékeny alakváltozások mértékei (3.,4. és 5. ábrák), illetve a hozzájuk tartozó főforgácsoló- (F_c), ill. passzív erő (F_p) komponensek karakterisztikája. A könnyebb ábrázolás miatt, a forgácsolóerők változását csak az állandósult hőmérsékletek után mutatjuk be, tehát a kezdeti szakaszok most nem láthatóak. A kialakult forgácsolak alatt ábrázolásra kerültek a hozzájuk tartozó forgácsoló erőkomponensek is.



3. ábra. A képlékeny alakváltozás és a forgácsoló erő $v_c = 120$ m/perc, a) $f = 0.1$ mm/ford, $a_p = 0.1$ mm b) $f = 0.1$ mm/ford, $a_p = 0.2$ mm esetén



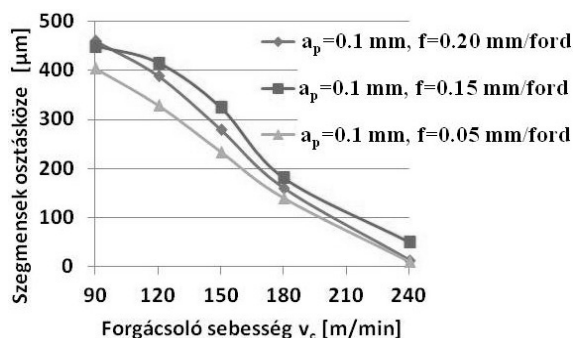
4. ábra. A képlékeny alakváltozás és a forgácsoló erő $v_c = 180$ m/perc, a) $f = 0.1$ mm/ford, $a_p = 0.1$ mm b) $f = 0.1$ mm/ford, $a_p = 0.2$ mm esetén



5. ábra. A képlékeny alakváltozás és a forgácsoló erő $v_c = 240$ m/perc, a) $f = 0.1$ mm/ford, $a_p = 0.1$ mm b) $f = 0.1$ mm/ford, $a_p = 0.2$ mm esetén

Megfigyelhető, hogy a forgácsoló sebesség növelésével a leválasztott forgács kitéremkedéseinek száma is nö-

vekszik. A fogásmélység növekedésével pedig a kitéremkedések nagysága növekszik. A szinte szabályos periodikussággal változó forgácsalak és a forgácsképződési mechanizmus arra enged következtetni, hogy a forgácsoló erőknél is hasonló periodicitással kell ébredniük a forgácsleválasztás során. A forgácsszegmentálódását a forgács szegmensek között fellépő osztástávolsággal jellemezzük, amely a szakirodalomban [1, 2, 3] is elfogadott módszer ennek vizsgálatára. A „fűrészfogak” sokasága a forgács hátsó felületén helyezkednek el, így elvégezhető az osztások mérése. Elemeztük a vágósebesség és a nyírásból származó kitéremkedések osztástávolságának kapcsolatát, ennek eredményét a 6. ábrán mutatjuk be. Ha a vágósebesség 120 m/min, akkor viszonylag kevés forgácsszegmens mutatkozik, és ha elérjük a 180 m/min értéket, akkor egyre sűrűbbé válnak, az egyes szegmensek szinte egymásból válnak ki. Nagy forgácsoló sebességeknél, kis forgácsvastagságok esetén gyakorlatilag már a leválasztott forgács teljes keresztmetszetében képlékenyen alakváltozik. Ez a nagy képlékeny alakváltozás nagy hőképződéssel is járhat, amely akár megváltoztathatja a munkadarab felszíni rétegének állapotát is [3, 4, 10].



6. ábra. A forgácsszegmensek osztásköze a forgácsolósebesség függvényében

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a keménysztergálásor lezajló forgácsképződési mechanizmust mutatja be FEM szimuláció segítségével. A képződött forgács morfológiája összefüggésbe hozható az ébredő erőkomponensek periodicitásával és karakterisztikájával. Elképzelhető, hogy ez a „fűrészfog” képződési mechanizmus a szegmens-ingadozásával káros hatással lehet a munkadarab felületi rétegének integritására [2, 3, 4, 11]. Ezen összefüggések kutatása további kísérleteket kíván.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a cikk a magyar Országos Tudományos Kutatási Alapítvány (OTKAK 78482) valamint a „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” című projekt (TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001) támogatásával készült. A támogatásért a szerzők ezúton is köszönetet mondanak

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Klocke F; König W.: Fertigungsverfahren 1. Springer Verlag, Heidelberg, 2008
- [2] König W., Komanduri R., Tönshoff H. K., Ackerschott G.: Machining of Hard Materials. Annals of the CIRP Vol. 33/2, 1984, pp. 417-427.
- [3] Klocke F., Brinksmeier E., Weinert K.: Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes. Annals of the CIRP, Vol. 54/2, 2005, pp. 22-45.
- [4] Davim J. P. (ed.): Machining (Fundamentals and Recent Advances). Springer Verlag, London, 2008.
- [5] Shaw M. C.: Metal Cutting Principles. Oxford University Press, New York, 2005.
- [6] Recht, R.F.: Catastrophic Thermoplastic Shear. Journal of Applied Mechanics, 1964, Vol. 31, pp. 189-193.
- [7] Davim J. P. (ed.): Machining of Hard Materials. Springer Verlag, 2011, London.
- [8] Ackerschott G.: Grundlagen der Zerspanungseinsatzgehärteter Stähle mit geometrisch bestimmter Schneide. Ph.D.-Thesis, RWTH Aachen, 1989.
- [9] Zhang Y. C., Mabrouki T., Neliis D., Gong Y. D.: Chip formation in orthogonal cutting considering interface limiting shear stress and damage evolution based on fracture energy approach. Finite Elements in Analysis and Design Vol. 47, 2011, pp. 850-863.
- [10] Davim J. P., Maramhao C.: A Study of Plastic Strain and Plastic Strain Rate in Machining of Steel AISI 1045 Using FEM Analysis. Materials and Design, Vol. 30, 2009, pp. 160-165.
- [11] ČSN 41 4220/ISO 683/11-70
- [12] Kundrák J., Karpuschewski B., Gyani K.: Accuracy of Hard Turning. Journal of Material Processing Technology. Vol. 202, Issues 1-3, 2008, pp. 328-338.
- [13] Mamalis A. G., Markopoulos A. P., Kundrák J.: Simulation of High Speed Hard Turning Using the Finite Element Method. Journal of Machining and Forming Technologies, Vol. 1, Issue 1/2, pp. 1-15.