FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2001. március 23-24.

A MIKROFORGÁCSOLT FELÜLETEK ELEMZÉSE

Dr. Mészáros I., Nyirő J.

Abstract

It is well known that the coefficient of elasticity is changing with the different directions of the atomic lattice in case of structural materials. This anisotropy significantly affects the machined surface quality during the machining of crystalline structured materials. The effect has already been observed by Moriwaki and others. It is also known that during machining dislocations are starting because of the process forces and stress state, which accumulate at the crystal boundaries. The coefficient of elasticity increases at the crystal boundary, which causes increased elastic deformation. Several researches have explained that the spring back effect in some cases makes the crystal boundaries protrude from the surface to a greater extent than the rest of the crystal. However the surface topography is influenced both by these effects. In our expositions we would like to introduce the results of the experiments using OF-Cu material machined by single crystal diamond tools, and the theoretical analysis of the phenomenon.

1. Bevezetés

Néhány fém kiváló fényvisszaverő képességekkel rendelkezik, amelyeket már az ókorban is felhasználtak fémtükör készítésére. Manapság az optikai fémeket leggyakrabban lézertechnikában alkalmazzák, amelynek következtében a fémtükrök jelentősége megnövekedett. Az optikai felhasználás fokozza a különleges igényeket a fémtükrök minőségi javulása iránt. Az anyag reflexiós tulajdonsága mellett, a fémtükör minőségét befolyásolja a felületi érdesség, a méret és alakhiba. Különféle publikációk részletesen taglalják a felületi érdesség elméleti és kísérleti kérdéseit, de ezek az irodalmak nem adnak választ számos felmerülő kérdésre. Ez különösen a vörösrézre igaz, ahol az anyag anizotrópiája a legjelentősebb a kialakuló felületi érdességre.

Az kísérletek eredményét több nemzetközi konferencián publikáltuk. A jelenség vizsgálatára egy elméleti modell vezetünk be, a modell eredményeinek a kísérleti

eredményekkel való összehasonlítására. A vizsgálatot és a modellt a réz Ultraprecíziós esztergálása esetén mutatjuk be.

2. A felületi érdesség változása a réz megmunkálásakor

A réz, köbös, felületen középpontos atomrács szerkezetű, és jelentős mértékű anizotrópiája van. A rugalmassági vagy a Young modulusa a réznek változik $E=66,71 \cdot 10^3$ N/mm²-től, $E= 192,33 \cdot 10$ N/mm²-ig, a kristálysíkok orientációjának függvényében. A legkisebb értéke mérhető az $\langle 100 \rangle$ síkban, a legnagyobb értéke az $\langle 111 \rangle$ síkban van. Más mechanikai anyagtulajdonságok, mint a relatív elmozdulás (ϵ), a húzó feszültség (σ_b) és a csúsztató-rugalmassági modulus (G), hasonló a Young modulusához [1]. Ezek az együtthatók egykristályos esetre vonatkoznak. Polikristályos anyagok esetén csak a kristályhatárokon belül érvényesek. Hagyományos forgácsolás közben a forgácsoló méretei lényegesen meghaladják az átlagos kristály méreteket, ezek következtében a csúszás, alakváltozás a kristály határok mentén jön létre. Ezzel szemben a mikromegmunkálásnál és/vagy ultraprecíziós forgácsolásnál a forgácsoló mérete jelentősen kisebb, mint az átlagos szemcse méret, ami azt eredményezi, hogy a csúszás nem a kristályhatárok mentén, hanem a szemcsén belül, mintha egykristály lenne, a csúszó síkokban játszódik le. A szemcsék kristálytani orientációja különböző, ennek eredményeképpen a nyíróerő és a csúszási síkoknak az iránya forgácsolás közben kristályról kristályra változik. Amint a forgácsoló szerszám a szemcséből kilép, a szemcse visszarugózik, a visszarugózás mértéke az orientációtól függ. A jelenséget az 1. ábra. (Moriwaki szerint [2]) írja le.

Lábra: az anyagok anizotrópiája és a spring-back effektus (Moriwaki szerint [2])

A modell alapján a megmunkált felület topográfiáját az egyes kristályok átvágásához szükséges erővel magyarázzuk. Ez a jelenség nem magyarázza meg az érdesség csúcsok keletkezését a kristályhatárok mentén. Spenrath [3] ezt az effektust azzal magyarázza, hogy a forgácsoló szerszám éle körül kialakuló nyomási feszültség miatt, diszlokációk keletkeznek, amelyek azonban nem rendelkeznek akkora energiával, hogy a kristályhatárokon átlépjenek. A diszlokációk felgyülemlekednek a kristály határokon, és lokálisan növekedik az anyag szilárdsága. Hogy a kristályhatárt átvágni, nagyobb erők szükségesek, aminek következménye egy nagyobb rugalmas deformáció, és ez a rugalmas deformáció nagyobb helyi visszarugózást okoz. Ezen hatás magyarázható a diszlokációk vándorlásának elméletével [4], de néhány kérdés továbbra is nyitott marad. Az érdességi csúcsok nem jelentkeznek minden egyes szemcse határon azonos mértékben. A jobb érthetőség kedvéért a forgácsleválasztási folyamatot vizsgáljuk meg a szerszám homlokfelülete felől. A 2. ábrán egy átlagos megmunkálási esetet látunk. N. P. L'Vov szerint [5] ($h_{cmin}=0.293 \cdot r_\beta$). Ha feltételezzük, hogy az élekerekítési rádiuszt $r_o=50nm$, a minimális forgácsvastagság $h_{cmin}=15\text{ nm}$. Ez azt jelenti, hogy az A pont előtt a szerszám élén az előtolás irányában az $x=5,45\mu m$ hosszban a szerszám már nem képes anyagot leválasztani. Az anyag a szerszám éle alatt rugalmasan és képlékenyen deformálódik. A rugalmas és képlékeny deformáció miatt körülbelül ugyanekkor szakaszon érintkezik a szerszám éle a munkadarabbal az „A” pont mögött. Ha megvizsgáljuk a „B” pontot, megállapíthatjuk, hogy a szerszám $2x$ hosszúságú szakasza legalább háromszor áthalad felette, míg azt végleg elhagyja és kialakul a felület végleges alakja. Az eddigi forgácsolási modellek csak egyszeri áthaladást feltételeztek. A kérdés az, vajon mi történik a szerszámnak a második és a harmadik áthaladása esetén. Ez egy olyan kérdés, ami még további magyarázatra szorul. A kérdés vizsgálatához új modellre van szükség.

2. ábra - elméleti forgácsvastagság forgácsolóélen

3. A forgácsleválasztó mechanizmus kiterjesztett modellje

A 3. ábrán sematikus modellt láthatunk, amely a 2. ábra B-C szakaszán egy metszet felvételével készült. Az anyagleválasztás csak a B-C szakaszon történik. Az adott kristály átvágásakor az ébredő erő nagysága kristály orientációjától függ. A forgácsolás alatt az éppen átvágott kristály a szomszéd kristályokhoz rugalmasan kapcsolódik. A sematikus rajzolt rugó rugalmassági állandója minden egyes irányban különböző. Az anyag folyásának iránya a kristálytani irányokból levezethető. Ahol a forgácsvastagság, a minimális forgácsvastagság alatt van (h_{cmin} A-B metszetben), elméletileg nincs anyagleválasztás, csak képlékeny és rugalmas deformáció. A forgácsvastagság tehát nem csökkenhet $h_c=0$ -ra, ami a geometriai feltételekből adódna. A kinematikai- geometriai körülmények miatt (lásd 2. ábrán) a szerszám ismételten áthalad minden egyes pont felett. Minden áthaladás rugalmasan és képlékenyen deformál, aminek következtében az anyag felülete felkeményedik. A felkeményedés mértéke a deformálás számától függ, amely viszont a szerszám élekerekítési sugarától és az előtolástól. Nagyobb előtolás és kisebb csúcsgugár esetén az ismételt deformálások száma csökken, aminek következtében csökken a felkeményedés mértéke is. Ez a gondolat felveti az optimális szerszám, az optimális előtolás gondolatát is.

$$\frac{1}{C_{1\alpha}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

A diszlokációs vándorlásának sematikus bemutatása

- C_1 = a vizsgált kristály rugóállandója α irányban
- $C_2 = f(C_1)$ a vizsgált kristály rugóállandója β irányban
- $C_3 = f(C_1)$ a vizsgált kristály rugóállandója γ irányban
- C_4 = szomszédos kristály rugóállandója α irányban
- C_5 = szomszédos kristály rugóállandója β irányban
- C_6 = szomszédos kristály rugóállandója γ irányban

3. ábra - az anyagleválasztás összetett modellje

4. A megmunkált felület topográfiája

Az előző fejezetben említett jelenségek együttesen jelennek meg a megmunkált felület topográfiai képében. A szerszámot és a munkadarabot nem tekinthetjük merev

objektumoknak. A munkadarab és a szerszám egy rugalmas rendszert alkot. A felületek mozgása normális irányába befolyásolja a felület topográfiáját. A helyzetet tovább bonyolítja, ha a szerszám élén makroszkópikus geometriai hibák vannak, vagy forgács hosszabb ideig megtapad a szerszám homlokfelületén. A 4.ábrán felület mikrotopográfiai képe látható.

4. ábra -Az OF-Cu felület topográfiája

A kristály és a kristályhatár jól kirajzolódik. A kristályhatárok kiemelkedése csak a csúsztási irányokban jelentős, más irányokban elhanyagolható mértékű.

5. Következtetések

A fentiekben bemutatott sematikus modell jobban megközelíti a valóságot, mint a korábbi modellek. Az kristály irányok meghatározása speciális (OIM) mikroszkóppal történik, ma már lehetséges kis szemcseméretek esetén is (néhány ~~µm~~ ^{µm} szemcseátmérő). A forgácsolási kísérletek alapján a MARC vége-seleemes program segítségével modelleztük a forgácsleválasztás alatt lezajló folyamatokat. Forgácsolási kísérletekkel tükörfelületeket készítettünk. A megmunkált felületek topográfiai képét összehasonlítottuk a MARC

végeselem program segítségével kapott eredményekkel. A modellezéssel olyan eszköz áll rendelkezésre, amelynek segítségével az anyag kristályszerkezetének és a kés geometriájának, valamint az előtolásnak a függvényében előre meg tudjuk határozni a felület várható topográfiai képét.

A végeselem analízis folytatódik, és egy következő publikációban szeretnénk az eredményekből részletesebben beszámolni.

Irodalomjegyzék

- [1] J. Prohászka: **The Effects of the Anisotropy of Young's Modulus on the Beginning of Plastic Deformation**, Proceedings of IMMM '97, Mie University Press, pp. 13-20
- [2] T. Moriwaki: **Machinability of Copper in Ultra-Precision Micro Diamond Cutting**, Annals of the CIRP, Vol. 38/1/1989, pp. 115-118
- [3] N. M. Spenrath: **Technologische Aspekte zum Feinstdrehen von Kupferspiegeln**, Diss. RWTH Aachen, 1991
- [4] R. Rentsch, I. Inasaki: **Investigation of Surface Integrity by Molecular Dynamics Simulation**, Annals of the CIRP, Vol. 44/1/1995, pp. 295-298
- [5] N. P. L'Vov: **Determining the Minimum Possible Chip-Thickness**, Machines & Tooling, 1968, Volume XL No 4, pp. 45-46

Név/ tudományos fokozat: Dr. Mészáros Imre, Egyetemi Docens
Munkahely, cím: Budapesti Műszaki Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszék,
1111, Budapest, XI. Ker., Egrý J. u. 1.
Telefon: (1) 463 2641, **Fax:** 463 3174, **E-mail:** iniesaros@inanuf.bme.hu

Név/ tudományos fokozat: Nyirő József, Ph.D doktorandusz (II. éves)
Munkahely, cím: Budapesti Műszaki Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszék,
1111, Budapest, XI. Ker., Egrý J. u. 1.
Telefon: (1) 463 2641, **Fax:** 463 3174, **E-mail:** nyj@manuf.bme.hu