FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

A HŐDEFORMÁLÓ HATÁSA ÉS EGYÉBB PROBLÉMÁK A MIKRON PONTOSSÁGÚ GYÁRTÁS SORÁN

Dr. Mészáros Imre, Sántori Szabolcs

Summary

This close regarding the heat deformation is an example for, that during ultraprecision machining the environmental effects as well as during the cutting procedure arising heat and forces must be eminently considered. The introduction contemporaneously calls the attention to the importance of the modelling and measuring on the machine.

The models applied for conventional cutting often contain negligences, so the accuracy and scattering of the given results are not suitable for the requested quality and accuracy of ultraprecision cutting. Therefore the models for conventional cutting must be rebuilt for ultraprecision cutting. Exact models must be developed.

The measuring on the machine is significant if the allowance is given more cut is impossible. It usually occurs when the final dimension is given and the tolerance range is restricted (1-2 μm). The measuring on the machine has a lot of conditions, which make ultraprecision machining more difficult and expensive.

Megoldandó problémák

Ultrapreciziós alkatrészek gyártásakor az előírt méret-, alakpontosság, felületi érdesség mikrométer alatti tartományban van, így a megmunkálás jóságát sokkal több tényező befolyásolja, mint hagyományos forgácsoláskor.

A helyiségben a hőmérsékletet megegyezés szerint 20 fokon kell tartani, valamint a precíz gyártás akkor garantálható, ha az egész gép is üzemi hőmérsékletű a megmunkálás alatt. Ha ugyanis a gép különböző részei más-más hőmérsékletűek, akkor a különböző mértékű hőtágulás miatt a mérőrendszer által mért távolság nem egyezik meg a szánok elmozdulásával. Ugyanez igaz a mérőgépek alkalmazásakor is.

Gyémánt éllel történő forgácsoláskor az él alakhibája közvetlenül kihat a forgácsolt felület alakhibájára.

A befogás, a megmunkálás stabilitása számos probléma okozója. A munkadarab geometriája (változó falvastagsága) gyakori hibaokozó, figyelmen kívül hagyása gyakran selejtes gyártást eredményez. A munkadarabot rögzítő erők nagysága akkora lehet, hogy az általuk okozott méret vagy alakhiba nagysága kisebb legyen, mint az előírt tűrésmező nagysága. A munkadarabok változó falvastagsága miatt esetenként speciális befogó készülék alkalmazása szükséges.

Egy példa a befogással szemben támasztott követelményekre

A feladat egy speciális, MMC anyagból készített dugattyú gyártása volt. Az előgyártmányt porkohászati úton előállított rúdból darabolt pogácsából, hátrafolyatással készítették. A kész alkatrészen a külső palástfelület előírt tűrésmezeje $3\mu\text{m}$ szélességű. Az előgyártmány hossza nem tette lehetővé a paláston való megfogást, tehát csak a folyató tüske által kialakított üreg felületén, azaz nyers bázison, egy speciális készülékkel, rugalmas szorítással lehetett rögzíteni a darabot. Az első esetben elkészített befogó készülékkel esztergált dugattyú palástjának átmérője a gépen, a tükére felhúzva pontosan a tűrésmező közepén helyezkedett el. A tükéről lehúzva azonban a palástfelületen kör alakhibát mértünk. A készülék rugalmasan deformálta a darabot, emiatt a munkadarab legkisebb átmérője a gépen mért mérethez képest $4\mu\text{m}$ -rel kisebb volt, ami már az előírt tűrésmezőn kívül esett. Ezt a hibát a felfogó készülék módosításával lehetett kiküszöbölni.

A megmunkálás során keletkező hődeformáció modellezése

A forgácsoláskor keletkező hő egy része a munkadarabba jut. A munkadarab hőmérsékletének változása, növekedése hőtáguláshoz vezet, ami tovább növeli a munkadarab alakhibáját, hengeres darab esztergalásakor az alakhibával együtt mérethiba is jelentkezik.

A szerszám éle ultraprecíziós finomesztergaláskor általában r_e csúcssugár egy szakaszán érintkezik a munkadarabbal. Acél esztergalásakor a kezdeti bekopás után az érintkező szakasz jelentősen megnövekedik. Egy átlagos $r_e=0.8\text{ mm}$ csúcssugarú szerszám esetén $1\mu\text{m}$ sugárirányú kopás feltételezésekor az érintkező szakasz $80\mu\text{m}$ hosszú lesz. Figyelembe véve az előtolás nagyságát ($5\div 20\mu\text{m}$) a munkadarab $(4\div 16)$ -szor körbefordul, amíg a szerszám egy pont fölött elhalad. A bevitt munka részben alakváltozásra, részben pedig súrlódásra fordítódik, amely végső soron hővé alakul. A hőenergia egy része a munkadarab felületét melegíti. Az elmondottakat az 1. ábra szemlélteti.

1/a kinematikai viszonyok

1/b helyettesítő modell

1. ábra Az ultraprecíziós finomesztergalás hőbeviteli modellje

Az 1/a ábrán látható modell helyettesíthető az 1/b ábrán látható egyszerűsítő modellel. [1]

Az 1/b ábrán kétirányban végtelen test felületén v_f előtolási sebességgel halad a ΔA felületre kiterjedő hőforrás. A modell alapján felírható a hőterjedés általános differenciál egyenlete (Fourier-egyenlet):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \quad (1.)$$

ahol $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ a hőmérsékletvezetési tényező

λ - hővezetőképesség $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

ρ - sűrűség $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

c - fajhő $\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$

Feltételezve, hogy a munkadarab a környezeti hőmérsékleten van a forgácsolás megkezdésekor ($t = 0$), és a forgácsolás alatt ($t > 0$) a felületi hőmérséklet ($\zeta \neq 0$) $\theta_0 > \theta_A$

Az egyenlet egydimenziós megoldása ζ irányban, azaz a felületre merőleges irányban:

$$\theta(\zeta, t) = (\theta_0 - \theta_A) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{\zeta}{2\sqrt{a \cdot t}} \right) + \theta_A \quad (2.),$$

ahol $\operatorname{erf}(x)$ a hibafüggvény.

Az η irányba haladó hőforrás $t > 0$ időpillanatban a hővezetés miatt már „előmelegített” anyagot melegít, így a felmelegedett zóna egyre szélesebb lesz. A hőmérsékletviszonyokat $t > 0$ idő, azaz Δl előtolási úthossz után a 2. ábra mutatja.

2.ábra Hőmérsékleteloszlás sematikus ábrázolása $t > 0$, azaz Δl előtolási úthossz után hengeres darab esztergálásakor

A bekezdés pillanatában a felületi hőmérséklet $\theta_0 = \theta_A$ alaphőmérséklettel, azonban az I. síkban az átmérő akkor alakul ki, amikor az élszakasz elhagyta a bekezdő I. síkot, így az ábrán bejelölt

hőmérsékleteloszlással kell számolnunk. Hőtágulás miatt az átmérő ΔD_I értékkel fog növekedni, amit az alábbi formulával számolunk:

$$\Delta D_I = 2 \cdot \alpha \int_0^{D/2} \nu(\zeta) d\zeta \quad (3.)$$

A II. síkban hasonlóan számolhatjuk ki a ΔD_{II} átmérőnövekményt. A két átmérőnövekmény különbsége alakhibában jelenik meg, amelyet sematikusán a 3. ábrán láthatunk.

3.ábra Hőtágulás mértékének sematikus ábrázolása

Ha az esztergakés éle forgácsoláskor a forgástengellyel párhuzamosan halad, akkor a II. síkban a munkadarabon a környezeti hőmérsékletre történő visszahűlés után Δ értékkel kisebb átmérőt mérünk. A D értéket (azaz az alakhibát) viszont kúp programozásával ki lehet küszöbölni.

Hasonlóan járhatunk el minden olyan esetben, amikor a forgácsolás miatt a munkadarab hőmérsékletváltozásával kell számolnunk.

A számítást és a modellezést nem kell minden esetben elvégezni. Ha lehetőség van próbaforgácsolásra (a ráhagyás megengedi) és a gépen történő mérésre, akkor a Δ értéke méréssel meghatározható.

Irodalomjegyzék

- [1] Carslaw, H.S. – Jaeger, J.C., Conduction of Heat in Solids, Oxford at the Clarendon Press 1959
- [2] Koch, K. F., Technologie des Hochprecisions-Hartdrehens, Industrie Anzeiger, Nr. 2, 6.6. 1961. P. 25-32
- [3] Mamalis, A. G. – Horváth, M – Kunderák, J. – Mészáros, I. – Paulmier, D., Surface Integrity during High-Precision Cutting of Hardened Steels, Euspen 1999, Conference Proceedings Volume 2, p. 483-486
- [4] Grabchenko, A. - Horváth, M – Mamalis, A. G. – Mészáros, I. – Paulmier, D. Ultraprecision Machining of Mirror-Surfaces, OsN '99 6th International Symposium of Machining & Cutting tools Proceedings p. 189-206

Dr. Mészáros Imre, Egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépgyártástechnológia Tanszék

H-1111. Budapest, Egy J. Str. 1. Tel: (1) 463 2515, e-mail: imeszaros@manuf.bme.hu

Sátori Szabolcs, Ph.D. hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,

Gépgyártástechnológia Tanszék

H-1111. Budapest, Egy J. Str. 1. Tel: (1) 463 2515, e-mail: satori@manuf.bme.