XI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2006. március 24-25.

CSÚCSTECHNOLÓGIÁK A GÉPGYÁRTÁSBAN

Prof. Dr. Dr. h.c. Dudás Illés D.Sc

Introduction

Greater and greater connection of science of metal cutting and economics can be noticed in the last years. Present reports [1] conclude, that necessary to integrate strongly technology and informatics (IT).

We can mentioned as examples the simulation of process planning and production planning, modelling of efficiency of production plans including operational persons, functional product analysis, virtual production and verification of algorithms.

In case of metal cutting the key is: reduction of dimensions of parts, high quality surface roughness, strict tolerances and production accuracy, reduced costs, reduced weight of parts and smaller batch quantity.

These changes have direct effects on inputs of cutting processes, namely on cutting tools and cutting tool materials, quality of workpieces and coolants and lubricants. We describe the details in this paper.

1. Bevezetés

A forgácsolástechnológia tudomány és a gazdaságtudomány egyre növekvő kapcsolódása mutatkozik az utóbbi időben. Jelenlegi tanulmányok [1] arra a következtetésre jutottak, hogy a technológiát és az információtechnológiát (IT) használó menedzsmentet erősen kell integrálni, például a folyamattervezés és gyártástervezés, gyártási rendszerek szimulációja, a hatékony, gyors gyártás, új termékek gyors újratervezése, gyártóeszköz hatékonyságának modellezése beleértve a kezelő személyzetet, funkcionális termékelemzés, algoritmusok virtuális gyártása és ellenőrzése. **A forgácsolás technológia esetében a kulcs: az alkatrészek méretének csökkentése, kiemelt felületminőség, szoros tűrések és gyártási pontosság, csökkentett költségek, az alkatrészek súlyának csökkentése és kisebb sorozat nagyság.**

Ezen változásoknak közvetlen hatásai vannak a forgácsolási folyamat elsődleges inputjára nevezetesen a forgácsoló szerszámra és szerszámanyagra, a munkadarab anyagminőségre és a hűtő-kenő folyadékokra. Mindezen inputokról a terjedelem keretein belül szólnunk ebben a dolgozatban

2. Általános fejlesztési tendenciák

A gépgyártástechnológia fejlesztésének általános tendenciáiból az alábbi pontokba foglaltak tartoznak a korszerű gyártási eljárások közé [7]:

- „1.) **A termékstruktúrák miniatürizálása** felé vezető úton fejlődött ki gyors tempóban a **mikrorendszertechnika**. (Pl.: egy komplett bolygó hajtómű átmérője 2,8 mm, érvizsgálatokhoz). A mikrorendszertechnika bonyolult, miniatűr, mikromechanikus alkatrészelemek gyártására szolgál többnyire nem mechanikus (pl.: litográfiai) gyártási eljárás alapján [5].
- 2.) A **Rapid-prototyping** eljárás komplex geometriai szerkezetű prototípusok közvetlen előállítására és termékfejlesztési idők rövidítésére szolgál. A folyamatidők rövidülése a termék struktúrától függően 30-70 % is lehet.
- 3.) **Near-net-shape technológia**. A racionalizálás és teljesítmény növelés egyik új útja rajzolódik ki ezen technológia alkalmazásával. A Near-net-shape technológián olyan munkadarabok készremunkálását értik, amelyek elsődleges és képlékeny alakítás után már csak kissé különböznek a kész kontúrtól, azaz kis ráhagyásokat kell eltávolítani lehetőleg egy befogásban és egy fogással. Ehhez döntően hozzájárult az eróziós technika fejlődése.
- 4.) Műszaki fejlődés „új” **konstrukciós anyagokkal** és „nagy” pontossággal.

A cikk készült az MTA-ME Gépgyártástechnológia Kutatócsoport keretén belül.

Paper was made in the frame of research work of Production Engineering research group of HAS.

- a) **Nagyszilárdságú kerámia.** (Jelentős alkalmazási terület pl.: kerámia golyóscsapágy, kerámia belsőégésű motor csúszógyűrűs tömítései) szálerősítésű műanyagok (pl.: járműgyártásban, stb.).
- b) Az **ultraprecíziós technikák** az új anyagokkal együtt fejlődnek a tűrés és felületi követelmények, az extrém tartományok felé. A gyártás és mérés technikában növekvő lézer alkalmazás nagy számú visszaverő optikát és tükröt igényel a lézersugár vezetéséhez és formálásához. Ezeket a felületeket a hagyományos köszörüléssel, leppeléssel, polírozással csak hosszú idő alatt, gazdaságtalanul lehet megmunkálni. Ahhoz hogy a pontossági követelmények szubmikrométer (nanométer) tartományáig érjünk el, amelyek már közelítik az anyagok atomsugarát, különleges követelményeket kell támasztani.
- **Duktilis anyagok ultraprecíziós megmunkálása.** Ezen anyagok ultraprecíziós megmunkálása egykristályos természetes gyémántszerszámokkal esztergálás, marás révén oldható meg. Ezen szerszámoknál $0,01\ \mu\text{m}$ lekerekítési sugarakat is elérhetünk. Természetesen csak olyan fémek és metaloidok megmunkálását teszi lehetővé, amelynek kicsi az affinitása a karbonhoz. Ezen kívül néhány műanyagot is csak így tudunk forgácsolni.
- **Rideg anyagok ultraprecíziós megmunkálása.** Rideg és kemény anyagok ultraprecíziós köszörülésével sikerül elérni azt, hogy a munkadarab érdessége nanométer tartományba jusson a megfelelő technológiákkal pl.: nagysebességű köszörűkorong és köszörűgép megoldásokkal.
- 5.) Optikai-, lézertechnológia (pl. Rapid-Prototyping)
- 6.) Környezetbarát technológia"

3. Nanotechnológia

Az 1. ábra bemutatja a gyártási képességben 1940 óta bekövetkezett változások függvényében az elérhető gyártási pontosságot.

1. ábra A forgácsolási folyamatok pontossága az időfolyamán [2]

Ma a számítógéppel vezérelt ultraprecíziós szerszámgépek a szerszámot a munkadarabhoz viszonyítva $1\ \text{nm}$ alatti felbontással és pontossággal tudják pozicionálni. Az 1. ábra bemutatja, hogy az elérhető

gyártási pontosság nem csak a határozott élű forgácsolószerszámot és az abrazív megmunkálásokat foglalja magába, de olyan energiasűrűségű technikákat is, mint az ion sugaras és elektron sugaras megmunkálás, továbbá a felület mérésére és molekuláris manipulációjára [3] szolgáló „scanning probe” technikát. A „hagyományos megmunkálás” esetén, pl. CNC eszterga és maró gépek, 10^{-6} – 10^{-4} m értékű pontosság érhető el (1. ábra).

2. ábra A mikrogyártás összehasonlítása más megmunkáló folyamattal [IPT-Aachen]

Az utóbbi évtizedek fejlődése a gyártástechnológiai eljárások pontosságának növekedésében az 3. ábra alapján jól mutatja be. [4]

A maximális pontosság, amely már az átlagos megmunkálási folyamattal elérhető pontosság kb. 1 μ m, ez a félvezetőgyártásnál kb. 0.1 μ m, az atomi méretű megmunkálásnál néhány Angström. A mérnöki és a fizikai módszerekkel előállított pontosság között van egy 10^2 – 10^3 nm nagyságú rés. Ez a pontossági rés ami számos lehetőséget nyújt a jövőbeli fejlesztésekhez. A szerzők a rés mérettartományán belüli területet „nanométer terület”-nek nevezik. [4]

1 μ m = 10^{-6} m szubmikronos gyártás, 1 nm = 10^{-9} m nanotechnológiás gyártás

3. ábra Tárgyak pontossága és mérettartománya különböző mikro-megmunkálási folyamatokban

A 3. ábrán bemutatott pontossági fejlődés indokolja az új technikai megoldások könyvben rendszerezett formáját [7].

A **nano-gyártás** néhány termékét a 4. ábra szemlélteti. A nano-megmunkálás megszorításainak feloldásához szükséges teljesítmény jellemzőit az 5. ábrában mutattuk be. Az ábra egyik fele a normál mérettartományú gyártás (az ábra (a) és (b) része) általános jellemzőit látjuk, míg a másik fél pedig a speciális jellemzőket a nanométeres tartományt ((c) és (d)) tartalmazza.

4. ábra Mikrotermékek a) mikobolygómű, b) mikromotor c) mikroreaktor [6]

5. ábra A nano gyártás világának teljesítmény jellemzői

A speciális jellemzők közül különösen a helyzetállandóság, a szimultán működőképesség és a visszatérő-képesség a három legfontosabb jellemző.

Ezek értelmezése a következő:

- **Helyzetállandóság**
Az egész gyártást és a hozzá tartozó mérést a munkadarab ugyanazon pontján kell elvégezni. Ha nem ugyanazon ponton végezzük, a kapcsolat a gyártás, az anyagtulajdonságok és a mért értékek között nem lesz pontosan érthető.
- **Egyidejű működőképesség**
A megfigyelő mérést és a gyártási mérést ugyanabban az időben végezzük. A jelenséghez kapcsolódó rendszertelen sorrend nem határozható meg a különböző időkben történt mérésekből.
- **Helyzetvisszatérő képesség**
Néhány műveletet a munkadarab ugyanazon pontján, de különböző időkben kell elvégezni, mivel a műveletek sorrendje azonnali lépéseket kíván egy másik helyen. Ez a jellemző alapvető a rendszer számára, amikor az egyidejű működőképesség nem biztosítható.

Párhuzamosan az elért megnövekedett gyártási pontossággal jelentős fejlesztéseket végeztek az alkatrészek **méretének csökkentésében** is. A 6. ábra bemutatja a súlycsökkenés történelmi fejlődését az ABS rendszer autóiipari alkalmazására. 1989 és 2001 közötti időszakban a súly 6,2 kg-ról 1,8 kg-ra csökkent. Az alkatrészek miniatürizálásával kapcsolatban egy nagyon fontos dolog társítható, nevezetesen a felület térfogat arány megnő. Ebben az esetben a felületnek és annak integritása megnövekedett jelentőséggel bír [1].

6. ábra Az ABS rendszer súlycsökkenése [Forrás: Bosch]

A forgácsolás: folyamat egyik kulcskérdése /inputja a forgácsolószerszám. 50 évvel ezelőtt a **forgácsolószerszám anyagok** választéka meglehetősen csekély volt, elsődlegesen a következőkre volt korlátozva: **szerszámacélok, gyorsacélok, sztelit és wolframkarbid a kerámiai**. A gazdaságos gyártás érdekében a ciklusidő egy kritikus kérdés és a forgácsolóanyag fejlesztés jelentős növekedést eredményezett nem csak a forgácsolósebességben, de az előtolás mértékében is.

Az anyagleválasztási arányok növekedése mind a forgácsolástechnológia fajlagos jellemzői, mind a munkadarab anyagtulajdonságok függvényei. A 5. ábra az elérhető forgácsolási sebességeket mutatja be.

Manapság a nagy sebességű folyamatokat főleg az alumínium és a mangán megmunkálásánál valósítják meg. Ezen munkadarab anyagok viszonylagosan kis mechanikai és hőterhelést jelentenek a forgácsolószerszámnak. Például, mangán homlokmarását szárazon maximum $v_c=4000$ m/min forgácsolósebességgel és $v_f=60$ m/min előtolással végzik. További szerszámfejlesztés lehetővé tette a forgácsolósebesség és az előtolás megnövelését fűráskor és dörzsárazási műveleteknél egészen $v_c=500$ m/min (fűrásra), $v_c=1500$ m/min (dörzsárazásra) és az előtolás $f=0,9$ mm.

7. ábra Elérhető forgácsolási sebességek [1]

3. Rapid prototyping

A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén egy Z400 3D Printer működik nagy hatékonysággal. A 8. ábrán látható fénykép a berendezés átadásakor készült. Megvalósítható rajta pl. orvosi implantátumok. A 9. ábrán a rapid prototypinggel készített emberi combcsont látható, míg a 10. ábra egy koponyát mutat be.

8. ábra A Z400 3D Printer átadási pillanata a Miskolci Egyetem Gépgyártási Tanszékén

9. ábra Combsont 3D-s képe

10. ábra Emberi koponya 3D-s képe

4. Környezetbarát megmunkálások

A **káros környezeti hatások** egyik előidézője lehet maga a **gépipari termelés**. Mivel a gépipar meghatározó szerepet tölt be a gazdaságban, kötelességünk foglalkozni annak környezetkárosító hatásaival, a megelőzések lehetőségeivel. Egy fejlődő gazdaságban a növekvő termelés következménye lehet az egyre súlyosabb környezetkárosítás. Cél, hogy a nagyobb volumenű termelést környezetbarát termékek, technológiák és megfelelő hulladékkezelés mellett érjük el.

A **környezetvédelem alapvető célja**, hogy a környezet minősége révén biztosítsa az egészséges emberi élet, a biológiai sokféleség és a gazdasági-társadalmi fejlődés feltételeit. Ezen belül alapvető követelmény a gazdasági fejlődés és a környezet harmonikus – a természeti erőforrásokkal észszerűen

és takarékosan gazdálkodó – kapcsolatrendszerének megvalósítása. Ma a legnagyobb problémát a városi közlekedés, az ipari és lakossági energiatermelés által okozott **légszennyezés** jelenti. A **zajterhelés** a környezeti hatások legvárosiasabb formája. Nagyon speciális környezeti probléma – elsősorban a nagy népsűrűségű városi térségben – a **hulladékok képződése, kezelése**. A fent leírt környezetkárosító módozatok – légszennyezés, zajterhelés, hulladékképződés – a gépípar területein is sorra fellelhetők.

11. ábra Fűrű sarokkopás értékek (Alkalmazott fűrűátmérő: Ø10 mm) [9]

A továbbiakban a egy konkrét gépípari megmunkálás, a fúrás különböző (környezetbarát és nem környezetbarát) tribológiai viszonyoknak megfelelően a különböző anyagminőségek és különböző hűtési viszonyok esetén eltérő fűrűszerszám kopásgörbéket kapunk [13]. Az ilyen megmunkálásokhoz tartozó kopásértékeket mutatjuk be a 11. ábrán, míg a 12. ábra a kopásmérés elvi vázlatát, a 13. ábra a CCD kamerás kopásmérés folyamatát szemlélteti.

12. ábra A CCD kamerát felhasználó fűrűkopás mérésének elvi vázlata [9]

13. ábra Hátkopás szemléltetése kopott csigafúróon. (A mérés CCD kamera alkalmazásával készült)
a) Kopott csigafúró, b), c) a kopásmérés számítógépesített folyamata

5. A gépgyártástechnológiai Tanszéken megjelent tankönyvek

A Tartalmi kivonatban megfogalmazott célok megvalósítását, a gépészmérnök képzés gépgyártástechnológiai ismereteit a Gépgyártástechnológia I-IV. kötetben foglaltuk össze a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén:

- Gépgyártástechnológia I. A gépgyártástechnológia alapjai; megjelent 2000-ben. A munka alapvetően a szakirányválasztás előtt a III. éves gépészmérnök hallgatóknak készült, és cél a minden gépészmérnök számára alapvető, általános technológiai ismeretekkel való megismertetés, ezért a könyv terjedelme bővebb mint a vonatkozó tantárgy anyaga [7].
- Gépgyártástechnológia II. a forgácsoláselmélet és technológiai tervezés alapjaival foglalkozik a IV. éves gépészmérnök hallgatóknak szükséges mélységben. E kötet célja, hogy megismertesse a gépészmérnök hallgatókat a legszükségesebb forgácsolástechnológiai, forgácsoláselméleti alapismeretekkel, képet adjon. Érintjük a technológiai tervezés alapjait is [8].
- A Gépgyártástechnológia III. című könyv 2 részből áll. Az „A rész” a megmunkáló eljárások és szerszámaik, a „B rész” a fogazó technológiák és szerszámaik tématerülettel foglalkozik [9].
- Gépgyártástechnológia IV. („Gyártás- és gyártórendszerek tervezése”, a technológiai tervezés lényegét és a gyártórendszerek alapvető összefüggéseit tárgyalja) V. éves gépészmérnök hallgatóknak szánva [10].

A könyvek a fenti fejlesztések fő irányait részletesen bemutatják.

6. Összefoglalás

Megállapítható, hogy a dolgozat a gépgyártástechnológia fő fejlesztési irányait mutatta be a nano megmunkálásra, a környezetbarát megmunkálásra és a Rapid prototyping-ra koncentrálna.

Az anyagleválasztási folyamatok meglehetősen nagy anyagleválasztási teljesítményeken valósulnak meg, mely elérheti a $Q_w=150-1500 \text{ cm}^3/\text{min-t}$ a legtöbb munkadarab anyagminőség esetén, ahol a forgácsolósebesség a $v_c=8000 \text{ m/min-t}$ is elérheti a korábbi $v_c=150 - 200 \text{ m/min}$ értékhez viszonyítva.

A megmunkálási pontosság $10 \mu\text{m}$ érték alatt elérhető a hagyományos forgácsolási folyamatok esetén, melyeket CNC szerszámgépeken végeznek, amíg ultraprecíziós forgácsolás esetén a $0,1 \mu\text{m}$ érték alatti a pontosság. A fő technológiai fejlesztéseket összekapcsolják a forgácsolószerszámokkal és szerszám anyagokkal, a munkadarab anyagokkal, a szerszámgépekkel, a megmunkálási folyamat feltételeivel és a gyártási környezettel. Amelyek elvezettek a fejlődés mai szintjéhez, a dolgozatban később részletezzük. A forgácsolástechnológia jövőbeli fejlesztési irányait szintén szolgáltatjuk.

A száraz és a közel száraz forgácsolásnak egyre jobban terjed az alkalmazása. A szuperkemény szerszámanyagok a $3000-9000 \text{ HV}$ keménységtartományból választhatók, miközben a szívósságuk meghaladja az 1000 MPa-t . A bevonatolt szerszámanyagok megteremtik a lehetőséget a megmunkáló szerszám anyag és a megmunkálandó munkadarab anyagminőség finom összehangolásának.

A Rapid-prototyping eljárás komplex geometriai szerkezetű prototípusok közvetlen előállítására és termékfejlesztési idők rövidítésére szolgál. A folyamatidők rövidülése a termék struktúrától függően $30-70 \%$ is lehet.

Production Engineering I.
Fundamentals of
production Engineering

Production
Engineering II.
Theory of Cutting,
Basis of Technology
Planning

Production Engineering III.
A. Manufacturing
Procedures and their
Tools
B. Production of Toothed
Components and their
Tools

Production
Engineering IV.
Planning of
Production and
Manufacturing
Centres

Miskolc
University Press

Felhasznált irodalom

- [1] *Fifty Years of CIRP: "Its Origins, Its Objectives, Its Achievements"*, 51st CIRP General Assembly, Nancy, France, August 2001
- [2] G. Byrne, D. Dornfeld, B. Denkena: *Advancing Cutting Technology*, Keynote Paper, Annals of the CIRP, 52/2, 2003, pp.:
- [3] Corbett, J., McKeown, P.A., Peggs, G.N., Whatmore, R.: *Nanotechnology*. International Developments and Emerging Products, Annals of the CIRP, 49/2, 2000, pp.: 523-545
- [4] Hatamura, Y.: *Construction of Nano Manufacturing World – The Contents of the Lectures in Chinese Universities* -, Proceedings of the Japan-China Bilateral Symposium on Advanced Manufacturing Engineering, Hayama, Kanagawa, Japan, 1996. october 04. pp.:111-116
- [5] Lierath F.: *Ausgewählte Trends der Entwicklung der Fertigungstechnik, im besonderen der Zerspan- und Abtragtechnik*, TU Miskolc, Lehrstuhl für Maschinenbautechnologie, April/Mai 1994. (Gastprofessur)
- [6] Lierath F.: *Basis-Technik Revolutioniert Fertigungs- (und Produktions) Technologien (und Umgekehrt)*, Proceedings of the 11th International Conference on Tools, ICT-2004, University of Miskolc, Miskolc, September, 9-11, 2004, pp.: 9-22
- [7] Dudás I.: *Gépgyártástechnológia I., A gépgyártástechnológia alapjai*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2000. p.583. ISBN 963 661 342 7
- [8] Dudás I.: *Gépgyártástechnológia II., Forgácsolásmélet, technológiai tervezés alapjai*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001. p.:314. ISBN 963 661 478 4
- [9] Dudás I.: *Gépgyártástechnológia III., A Megmunkáló eljárások és szerszámaik*, B. Fogazott alkatrészek gyártása és szerszámaik, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2003. p.:539. ISBN 963 661 572 1
- [10] Dudás I. – Cser I.: *Gépgyártástechnológia IV., Gyártás és gyártórendszerek tervezése*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004. p.: 337.
- [11] Dudas I.: *Theory and Practice of Worm Gear Drives*, 2000., London, Penton Press, p. 314. ISBN 1 8571 8027 5
- [12] Dudas I.: *Theory and Practice of Worm Gear Drives*, 2004., London and Sterling, VA, Kogan Page Science, p. 314. ISBN 1 909 9661 9
- [13] Varga Gy.: *Mechanical Modelling of Dry Machining Processes*, Proceedings of the 11th International Conference on Tools, ICT-2004, University of Miskolc, Miskolc, September, 9-11, 2004, pp.: 247-254

Prof. Dr. Dr.h.c. Dudás Illés D.Sc., egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gépgyártástechnológiai Tanszék

3515 Miskolc-Egyetemváros

Tel.: +36-46-565-160

E-mail: ggytdi@gold.uni-miskolc.hu