

A FORGÁCSOLÓSZERSZÁM ÉLTARTAMÁNAK MEGHATÁROZÁSA MUNKADARAB MÉRETELLENŐRZÉssel SOROZATGYÁRTÁSNÁL

ASSESSMENT OF CUTTING TOOL LIFE BY MEASUREMENT CONTROL IN SERIES PRODUCTION

Dr. Pálmai Zoltán,*Dr. Szűcs János**

ABSTRACT

We aimed at utilizing the data gained during the check of the workpiece size to observe the wear of the tool in series production. We have processed AS2 free cutting steel originating from two production charges by P20 uncoated carbide tool on automatic lathe. We designed the workpiece specifically for this purpose and we have measured the deviation from the nominal measure in the case of each piece. These were converted to wear of corner of the cutting edge and we have assessed their wear curve from which the tool life can be calculated. The results of control measurements of flank wear were in accordance with the calculated data of the wear of the corner of the cutting edge.

1. BEVEZETÉS

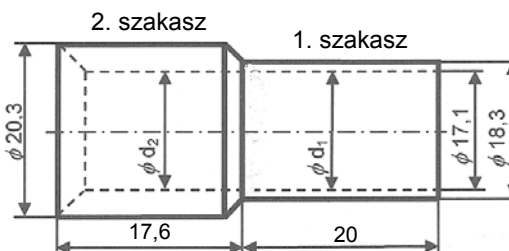
Alkatrészek sorozatgyártásánál az elkészült munkadarabok méretének ellenőrzése szükségszerű, természetesen végrehajtott művelet. Felmerült a gondolat, hogy a rendszeres mérési tevékenységgel nyert adatokat használjuk fel a szerszám elhasználódásának a nyomon követésére is, hiszen így külön célzott éltartamvizsgálatok nélkül is hasznos információk birtokába lehet jutni, amelyek a technológiai tervezésben felhasználhatók. Ezek az adatok alkalmasak lehetnek arra is, hogy a szerszámkopás felismert és kimért növekedése alapján a szerszámbeállítást vissz szabályozhassuk az egyre szűkebb mérettűrések betartása érdekében.

2. A KÍSÉRLETI TERV

A választásunk revolverautomatával végzett sorozatgyártásra esett. Egy SKODA A40 típusú revolveresztérgán, célzottan a kísérlet céljára kialakított

alkatrész sorozatgyártására került sor (1. ábra), amelynél minden darabon mértük a névleges mérettől való eltérést. Ebből kívántunk a szerszám csúcskopására vonatkozó információkat nyerni.

A méretszórás és a szerszámkopás kapcsolatának vizsgálatnál arra a kérdésre is kerestük a választ, hogy a művelet közben ugrásszerűen változó mechanikai igénybevétel hogyan deformálja a rugalmas megmunkáló rendszert. Ennek a kérdésnek a tisztázásához az 1. ábrán látható kísérleti munkadarabot úgy terveztük, hogy a művelet közben a külső átmérő $\phi 18,3$ -ról $\phi 20,3$ mm-re ugrásszerűen változzon meg, így a fogásmélység $0,6$ mm-ről hirtelen $1,6$ mm-re növekedjen. A végig azonos átmérőt két helyen is mértük, és ezeket az eredményeket (Δd_1 és Δd_2) összetartozó adatokként kezeltük.



1. ábra. A kísérleti alkatrész

2.1. A kísérleti anyag és szerszám

A kísérleti anyag két acélgégyártási adagból származó $\phi 28$ mm méretű hengerelt köracél volt, amelyet $\phi 26$ mm átmérőre húztak. Az anyagminőség AS2 automataacél az 1. táblázatban látható összetétellel.

A keménység a legszélső, erősen alakított rétegen belül, ahol a forgácsolási vizsgálatokat végeztük, az A adag esetében $HV 197 \pm 8$, a B adagnál $HV = 199 \pm 8$, azaz a két adagnál gyakorlatilag egyforma volt. A különbséget az A adag legyártásánál alkalmazott speciális dezoxidálási művelet okozta, amelynek következtében az A adagban olyan komplex szilikát zárványok maradtak vissza, amelyek a melegalakítás,

*ny. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, palmayz@t-online.hu

**ny. egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, janos.szucs@uni-miskolc.hu

így a forgácsolás körülményei között is képlékenyek, és a forgácsolhatóságot javítják.

1. táblázat

A kísérleti acél adagok kémiai összetétele

Acél	C %	Mn %	Si %	P %	S %
A adag	0,15	0,88	0,31	0,075	0,179
B adag	0,17	0,86	0,28	0,076	0,191

A szerszám P20 bevonatlan keményfém volt ($\gamma=0^\circ$, $\alpha=8^\circ$, $\kappa_r=45^\circ$, $r_e=0,2\text{mm}$).

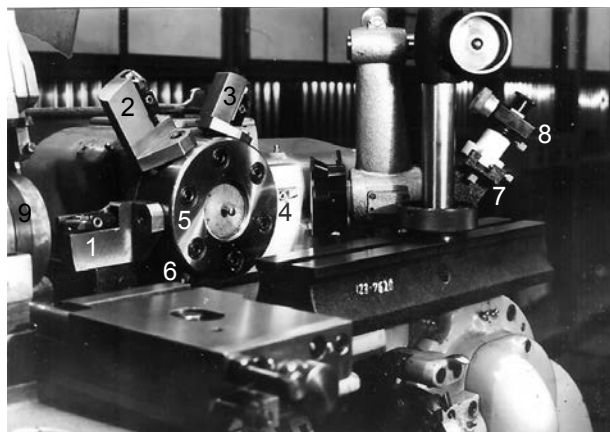
2.2. Technikai feltételek és műveleti sorrend

A vízszintes tengelyű, hat helyzetes revolverfejen (2. ábrán **5**) az ütköző (**6**), valamint a négy merev szerszámbe fogó készülékbe (**1**, **2**, **3**, **4**) keményfém-lapkák voltak beszerelve. A munkadarab befogása szorítóhüvelyben történt. A kísérletnél – ellenőrzésként – a szerszám hátkopását is mértük, amelyhez egy érdességmérő kettős mikroszkóp (**7**) okulár mikrométerét alkalmaztuk (**8**).

A kísérleti megmunkálás gépi műveleti sorrendje a következő volt:

- anyagadagolás, szorítás ütközőre (3. ábrán **6**),
- négy esztergálási művelet a revolverfej aktuális pozicionálása szerint (**1**, **2**, **3**, **4**),
- leszúrás.

Az összes próbadarabra kiterjedő átmérőméréseket – mérőhasábos beállítás mellett – 0-25 mm méréshatárú, 0,002 mm leolvasási pontosságú passzaméterrel végeztük. A keménységmérés Vickers keménység-mérővel történt.

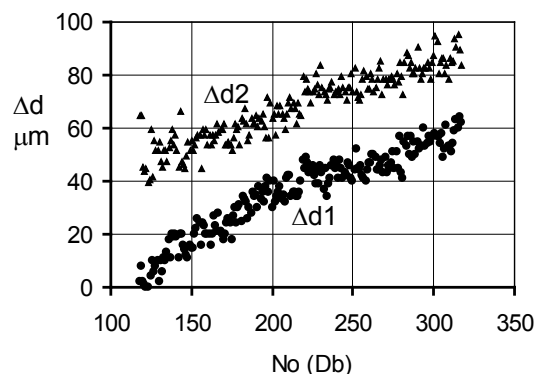


2. ábra. A mérési elrendezés a revolverautomatán

3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

Az AS2 acélból végrehajtott sorozatgyártás méretellenőrzésének eredményeit a 3. ábra mutatja. A legyártott munkadarabok méreteinek növekedését – a fogásmélység változása, a termikus és egyéb, véletlenszerű hatások mellett – a szerszám csúcskopása

idézi elő. Ahhoz, hogy ezt számításba lehessen venni, a legfontosabb egyéb tényezőket ki kell küszöbölni. Ilyen a megmunkáló rendszer rugalmas deformációja és a termikus hatásra bekövetkező méretváltozása. A rugalmas deformáció következménye a Δd_1 és Δd_2 méreteltérések közötti alapeltérés, amelyet a fogásmélység hirtelen megnövekedése okozott (1. ábra).



3. ábra. A kísérleti gyártás méretellenőrzésének eredményei az AS2 A acél adag megmunkálásánál

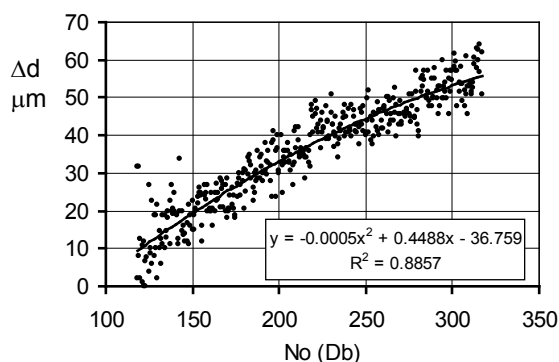
Ezzel a megmunkáló rendszer merevségét kívántuk ellenőrizni. A merevségi jellemzőt meghatározhatjuk úgy, hogy a Δd_2 adatsornál egy d additív értéket vezetünk be a

$$\Delta d_{2\text{komp}} = \Delta d_2 + d \quad (1)$$

kompenzált méreteltérés kiszámításával. A d additív értéket optimum számításal határoztuk meg, megkeresve az egységes Δd adathalmazként kezelt Δd_1 és $\Delta d_{2\text{komp}}$ értékek maximális R^2 Pearson-számához tartozó d értéket. Ezzel a módszerrel az A adag vizsgálatánál $R_{\text{max}}^2=0,8857$ esetén $d=-32,5\mu\text{m}$ additív érték adódott, és az átmérőmérési eredmények a megmunkáló rendszer rugalmas deformációjának a kompenzációja után a 4. ábrán láthatók. A d érték fontos információ a megmunkáló rendszer merevségére vonatkozóan, amely a $k=d/\Delta F_p$ összefüggés alapján – ahol ΔF_p a passzív erő növekménye a forgácsolt keresztmetszet megváltozása következtében – megadja a méreteltérést okozó rugóállandó nagyságát. Esetünkben a passzív forgácsolóerőt a Kienzle-képlettel kiszámítva [1] azt találtuk, hogy $k=0,14 \mu\text{m}/\text{N}$, amely meglehetősen nagy érték. A B adagra is hasonló eredmény adódott.

Ennek alapján az a megállapítás tehető, hogy az itt alkalmazott automata esetében befejező műveletnél feltétlenül kerülni kell a keresztmetszet-változásokat, mert az érzékenyen befolyásolja a megmunkálási pontosságot.

A szerszám gép-szerszám rendszer felmelegedéséből eredő mérettorzulás kiküszöbölésére a méréseket csak $N=117$ db legyártása után kezdtük meg, amikor az előkísérletek szerint a rendszer már termikus egyensúlyba került.



4. ábra. A kísérleti gyártás kompenzált átmérőmérési eredményei az A acél adagnál ($d = -32,5 \mu\text{m}$)

Ezeknek az eredményeknek a birtokában úgy képeztünk csúcscopás adatokat, hogy a legyártott munkadarabok No sorszámát átszámítottuk forgácsolási időre, a Δd méreteltérést pedig csúcscopásra.

A forgácsolási idő kiszámítására, figyelembe véve, hogy $No = 118$ -tól új szerszámmel dolgoztunk, Δd_1 -nél

$$t = [2(NO - 117) - 1]\Delta t, \quad (2a)$$

a $\Delta d_{2\text{komp}}$ -nál

$$t = 2(NO - 117)\Delta t \quad (2b)$$

képletet alkalmaztuk, ahol $\Delta t = 0,128 \text{ min}$, amely az 1. ill. 2 szakasz végigforgácsolásának géptideje (1. ábra). A munkadarab teljes géptideje pedig ebben a műveletben $2\Delta t$.

A csúcscopás a Δd méreteltérésekből a

$$V_C = \frac{1}{2}(\Delta d - \Delta d_0) \text{ctg} \alpha_{cs} + V_{C0} \quad (3)$$

képlettel számítható, ahol $V_{C0} = 30 \mu\text{m}$ a szerszám élsugara, Δd_0 a sorozatgyártás megindításakor a névleges mérethez beállított alapeltérés, esetünkben $\Delta d_0 = 8 \mu\text{m}$, α_{cs} pedig a csúcs hátszöge (itt a fő- és mellékél azonos hátszöge esetén $\text{tg} \alpha_{cs} = \sqrt{2} \text{tg} \alpha_0$).

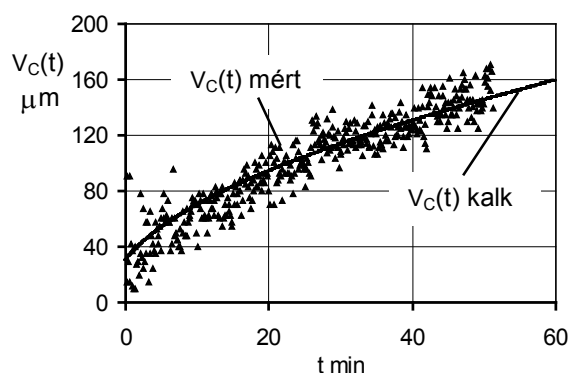
Ezekkel a csúcscopás kiszámítására $\alpha = 8^\circ$ figyelembevételével a $V_C = 2,56\Delta d + 2 \mu\text{m}$ képlet adódott. Az A adagra az idő függvényében meghatározott $V_C(t)$ csúcscopás értékeket az 5. ábra szemlélteti, amely már tartalmazza a számított kopásgörbét is.

A csúcscopás matematikai modelljeként a korábban kidolgozott kopásegyenletet alkalmaztuk [2], amely a

$$\frac{dV_C(t)}{dt} = \frac{v}{V_C(t)} \left[A_a + A_{th} \exp\left(-\frac{B}{v^x + KV_C(t)}\right) \right] \quad (4)$$

differenciálegyenlettel írható le, és

$$B = \frac{Q}{RC_v} \quad (5)$$



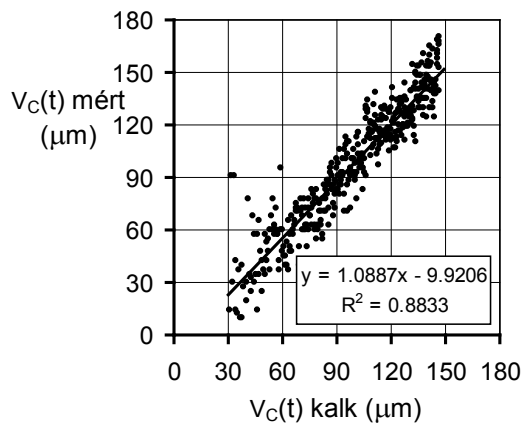
5. ábra. A csúcscopásból meghatározott kopásgörbe illeszkedése a kompenzált átmérőmérési eredményekre (A adag)

Itt A_a az abrázíós/adhéziós, A_{th} pedig a termikusan aktivált kopási folyamat együtthatója, amelyek mértékegysége $10^{-6} \mu\text{m}/\text{min}$, ha a V_C kopásnál μm , a t időnél min , a v forgácsolósebességnél m/min egységgel számolunk. $R = 8,31 \text{ J}/\text{mol}^\circ\text{K}$ az általános gázállandó, C_v pedig a forgácsoláselemtételben ismert $\Theta \approx C_v v^x$ empirikus hőmérsékletfüggvény konstansa, x pedig a kitevő. Ez utóbbi természetesen függ a technológiai paraméterektől, és itt nem részletezett számítás szerint a munkadarab 1 és 2 jelű szakaszára vonatkozóan $C_{v1} = 224,1 \text{ K}$, $C_{v2} = 236,5 \text{ K}$, és $x = 0,27$ [2]. A $K = C_w/C_v$ konstansban a C_w állandó azt a visszacsatolást fejezi ki, amely a forgácsolási hőmérséklet és a kopás között fennáll. Irodalmi adatok alapján $C_w \approx 0,6^\circ\text{K}/\mu\text{m}$ [2]. Q a kopási folyamat termikus aktiválási energiája, $Q = 134 \text{ kJ}/\text{mol}$ [3].

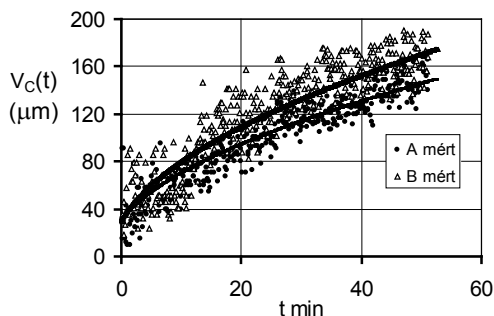
A (4) egyenlet numerikusan megoldható, az 5. ábra ezt is mutatja. Az R^2 Pearson-szám maximalizálásával a konstansok $A_a = 2,3 \cdot 10^{-6} \mu\text{m}$, $A_{th} = 20 \mu\text{m}$.

A munkadarab méreteltéréseiből előállított, mért értéként kezelt és a (4) egyenletből számított csúcscopás kapcsolata a vizuálisan a 6. ábra alapján megítélhető. A forgácsolástechnológiában megszokott nagy szórások ismeretében az egyezés meglehetősen szorosnak mondható.

A szerszámtartósságot a művelet közben szakaszosan vagy folyamatosan változó technológiai paraméterek esetén hagyományosan az elkopásig legyártható alkatrészek darabszámával szokás jellemezni. Szigorúan véve itt is ez a módszer kínálkozik, hiszen egy-egy műveletnél két különböző forgácsolósebességet és fogásmélységet alkalmaztunk. A (4) egyenlet révén azonban ezek a közbenső technológiai különbségek figyelembe vehetők, és végeredményben akár a szabatosan definiált, valamilyen kritériumhoz tartozó éltartamok is meghatározhatók.



6. ábra. A csúcskopás számított és mért értékeinek illeszkedése az A adagnál



7. ábra. A két vizsgált anyag forgácsolhatóságának összehasonlítása

Ezzel a módszerrel – a munkadarab méretszórásának értékelésével – a feldolgozott anyag forgácsolhatósága is megítélhető. A 7. ábra mindkét vizsgált acéladagnál mért méreteltérések feldolgozásának eredményeit tartalmazza, amely alapján megállapítható, hogy a közel azonos kémiai összetételű két lágyacél anyag a P20 keményfémrel történő megmunkálása esetén közel azonosan koptatja a szerszámot. Az éltartóssággal jellemzett forgácsolhatóság azonban az **A** adag esetében – feltehetően az acélglyántásnál alkalmazott speciális dezoxidációs technológia [4] következtében – valamivel jobb, mint a **B** adagnál. A $V_B=0,1$ mm-hez tartozó éltartamok $T_A=22,9$ min, $T_B=16,6$ min, a $V_B=0,15$ mm-hez tartozó éltartamok $T_A=53,4$ min, $T_B=38,8$ min, amely értékek a forgácsolhatóság különbségét számszerűen is jellemzik.

Az eredmények ellenőrzéseként a **B** adagnál, amikor egy közbenső műveletnél a forgácsolás sebessége $v=82,3$ m/min volt, a maximális hátkopást is mértük. $t=19,9$ min gépidőnél $V_{Bmax}=0,104$ mm értéket mértünk, amely összhangban van a méreteltérésekből számított csúcskopás értékekkel.

Természetesen a kopásból eredő mérethiba biztonsággal kompenzálható oly módon, hogy a kopásból levezethető Δd mérethibával meghatározott idő után alkalmazott visszazabályozással a szerszámbeállítást korrigáljuk, és ezáltal a gyártási méretszórást lényegesen szűkebb tartományba szorítjuk.

ÖSSZEFOGLALÁS

A sorozatgyártásnál rendszeresen, a legyártás sorrendjében minden darabon elvégzett méretellenőrzés eredményeit arra kívántuk felhasználni, hogy az így nyert információkból a szerszám elhasználódására vonatkozó megállapításokat tegyünk. Revolver-automatán célzott alkatrészgyártási kísérleteket végeztünk olyan alkatrész külső hengeres felületének esztergálásával, amelyet e célra terveztünk meg. A szerszám P20 bevonatlan keményfém, a megmunkált anyag AS2 automataacél két gyártási adaga volt. A szerszám gép és szerszám bemelegedési szakaszt kizártuk a vizsgálatból, a fogácsolás közben hirtelen keresztmetszet-változás következtében a rugalmas megmunkáló rendszer mérettorzító hatását vizsgáltuk, és kompenzáltuk. Ilyen módon lehetővé vált, hogy a legyártott munkadarabok méreteltérését a szerszám csúcskopására átszámítva meghatározzuk a kopás-görbét, amelyet egy kopásegyenlettel modelleztünk. Az eredmény összhangban volt a kontrollként mért maximális hátkopással. A módszer alkalmasnak bizonyult arra is, hogy felhasználásával az alkatrész anyagának forgácsolhatóságát minősítsük.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOM

- [1] König, W., K, Essel, Spezifische Schnittkraftwerte für die Zerspanung metallischer Werkstoffe. Verlag Stahleisen M.B.H., Düsseldorf, 1973.
- [2] Pálmai Z., A szerszámanyagok kopási folyamatai forgácsolásnál. KL Kohászat 144. évf. (2011), No. 5. pp.5-9
- [3] Cook, N.H., Tool Wear and Tool Life, Trans. of the ASME, Journ. of Engineering for Industry, Nov. 1973. pp.931-938
- [4] Pálmai Z., Újabb adatok a célszerűen dezoxidált acélok forgácsolhatóságáról. Gépgyártástechnológia XI. évf. (1971) No. 7. pp.294-301