

2.2 | A fröccsöntött formadarabok szerszámból való kidobásakor fellépő erők vizsgálata

Tárgyszavak: fröccsöntés; kidobóerő; súrlódás; felületi érdesség; vizsgálati módszer; polikarbonát; polipropilén.

A fröccsöntéssel szembeni elvárások az utóbbi időben fokozatosan nőttek. Egyre nagyobb az árverseny, új szerkezeti anyagokat vezettek be, egyre bonyolultabb a termékek alakja, egyre szélsőségesebbek a feldolgozási körülmények, ami erősen igénybe veszi a szerszámokat, növeli ezek kopását, lerakódásokat okoz, emiatt nehezebbé válik a kész darab eltávolítása. A szerszámból való eltávolítás jellemzőit számos tényező határozza meg, amelyeket a termékkel, a szerszámmal, a feldolgozási körülményekkel és a szerkezeti anyagokkal lehet összefüggésbe hozni – és amelyek egymással is kapcsolatban állnak.

Fontos szerepet játszik a termékeltávolításnál a szerszám falának ferdesége, a felület minősége, a gyártott darab alaktényezője; a felhasznált anyag zsugorodása, tapadása, súrlódása.

A műanyagok a feldolgozás során meglehetősen pontosan leképezik a szerszám felületét, bár ennek mértékét befolyásolja az érdesség, a megmunkálás módja és iránya. A műanyagömladék behatol a felületi egyenetlenségekbe, ami kismértékű alámetszést és lehorgonyzódást okoz. Az ömladék és a szerszámfal közti tapadás mértékét befolyásolja természetesen a hőmérséklet, a nyomás, a feldolgozott műanyag típusa stb. Ezek a kölcsönhatások okozzák a tapadósúrlódást vagy mechanikai adhéziót, amely többek között a kész darab kivételét is akadályozza.

A szerszámfelület és a műanyag formadarab között specifikus adhézió is kialakulhat. Ezen mindazokat a fizikai és kémiai erőket értik, amelyek a vegyértékkötésekkel kapcsolatosak. Itt lényeges szerepe van szerszámfelület és a feldolgozott anyag polaritásának, de számításba kell venni a másodlagos kötések, a polimerláncok tördelődésekor keletkező új kémiai kötések, a háttárrétegben fellépő diffúziós jelenségeket stb.

Ezért az adhéziót nem lehet elválasztani a polimer és a szerszámfelület közti kontaktus kialakulásának történetétől – a befröccsentéstől a kidobásig. Ezek a jelenségek függetlenek a tapadó- és csúszósúrlódástól.

A kész formadarab kidobásánál fellépő súrlódást egymástól gyökeresen eltérő módon egy portugáliai és egy németországi egyetemen vizsgálták.

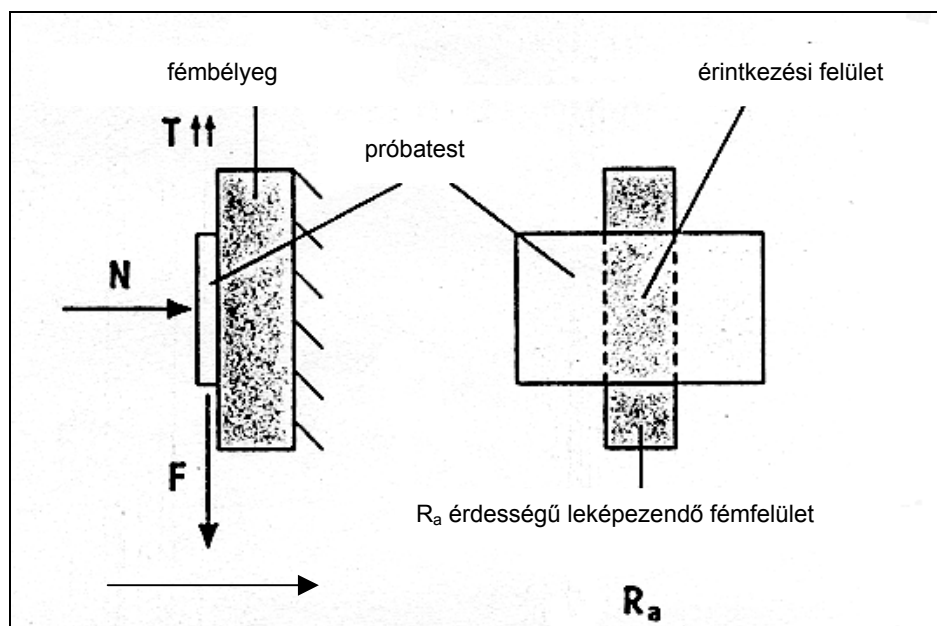
A hőre lágyuló műanyagok és a szerszámfal közötti súrlódás mérése próbatesten

A súrlódást rendszerint egy egyszerű, dimenziómentes számmal, a súrlódási együtthatóval jellemzik:

$$\mu = F/N$$

ahol μ a súrlódási tényező, F a súrlódási erő, N pedig a normálerő.

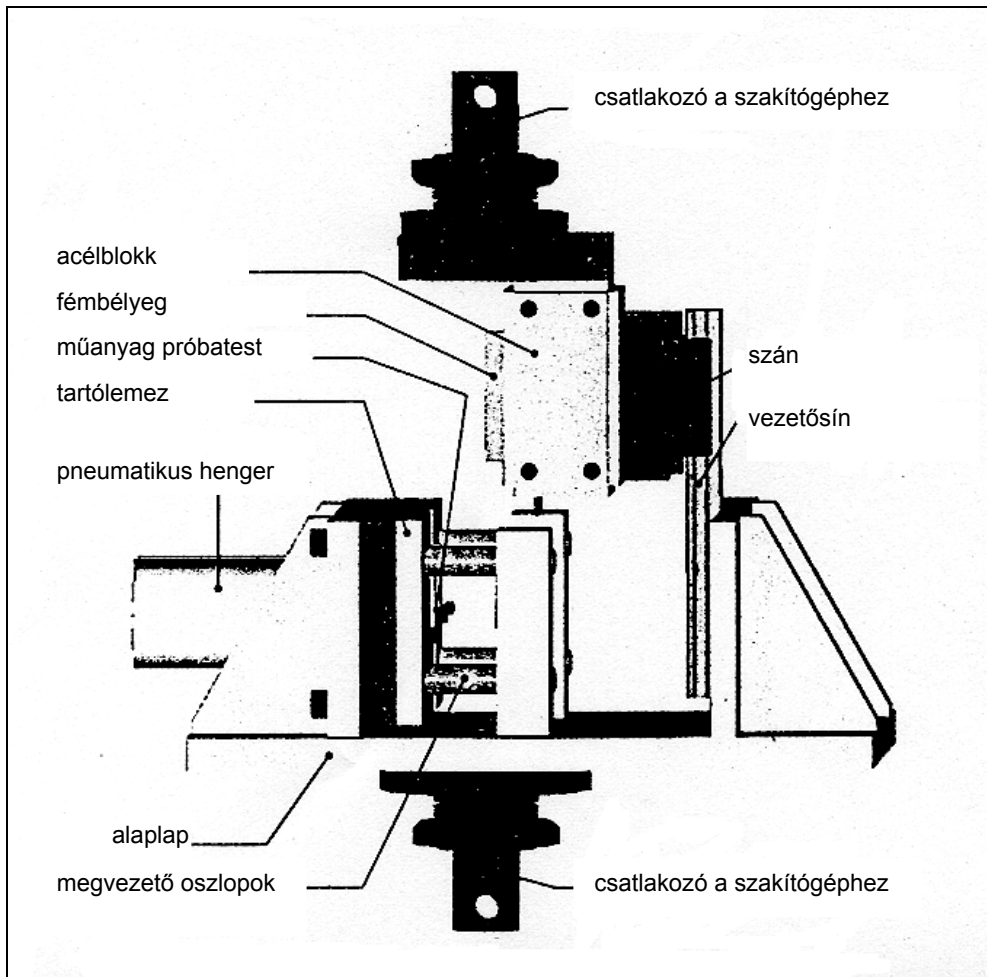
A tapadósúrlódási együttható az a maximális erő, amely a mozgás megindításához szükséges. A szabványos súrlódási mérések azonban nem teszik lehetővé, hogy a formadarabok szerszámból való eltávolításának valós körülményeit vizsgálják – bár több laboratóriumban tettek kísérletet a súrlódási erők közvetlen mérésére a fröccsszerszámban. A guimaraes-i egyetemen (Portugália) ezért különleges eljárást dolgoztak ki, ahol próbatesten igyekeznek reprodukálni a fröccsöntött hőre lágyuló formadarab szerszámfal-leképezését és tapadását, és mérni az elválasztáskor fellépő súrlódást.



1. ábra A fröccsszerszámban fellépő súrlódást és a leképezés minőségét vizsgáló módszer elve

A valódi fröccsöntéskor a megolvadt műanyagot nyomás alatt fröccsentik be a zárt szerszámba, ahol felveszi a szerszám (és a szerszámfelület) formáját. A portugáliai vizsgálatban ezzel szemben fröccsöntéssel előállított szilárd próbatestet nyomnak vízszintes N erővel az R_a felületi érdességű meleg szer

számfelülethez (1. ábra), és azt mérik, hogy mekkora erővel húzható le róla gyors hűtés után. A súrlódási erőt Instron 4505 típusú szakítógépen, a 2. ábrán látható berendezés segítségével végezték. Ennek alakadó részében van egy acéltömb, amelybe különböző R_a érdességű (1. táblázat) fémbélyegek rögzíthetők. A hőmérsékletet 2 mm-rel a felület alatt mérik, és ennek alapján szabályozzák a fűtést. A műanyag próbatest függőleges irányban elmozdítható. A súrlódó felület a szakítógép szimmetriatengelyében helyezkedik el.



2. ábra A műanyag/fém határfelület közötti súrlódás vizsgálatára kifejlesztett mintabefogó szerkezet és alakadó szerszám sematikus felépítése

A mérés négy lépésből áll:

1. lépés: a műanyag próbatestet a fémbélyegtől függőleges irányban maximális távolságra elmozdított tartóban helyezik el. Ez lehetővé teszi, hogy eltávolítsák a már megvizsgált próbatestet és az esetleges szennyeződést a fémfelületről.

2. lépés: A műanyag próbatestet felemelik a fémbélyeg magasságába. A fémbélyeget felmelegítik arra a hőmérsékletre (T_{rep}), ahol a felület reprodukciójának (lemásolásának) be kell következnie.
3. lépés: A műanyag próbatestet a reprodukciós ideig (t_{rep}) egy pneumatikus henger segítségével N normálerővel hozzányomják a felmelegített fémbélyeghez. A t_{rep} idő elteltével a fémbélyeget rövid idő alatt arra a hőmérsékletre (T_{teszt}) hűtik, ahol a súrlódási vizsgálatot végre kívánják hajtani.
4. lépés: Ekkor kerül sor a tulajdonképpeni súrlódási vizsgálatra. A műanyag próbatestet a szakítógéppel állandó sebességgel (v_{teszt}) elhúzza a fémfelületen. A szakítógép közben méri az elhúzáshoz szükséges súrlódási erőt (F). A mérésnek akkor van vége, ha bekövetkezik a kívánt elmozdulás (Δs).

1. táblázat

A mérésekhez használt fémbélyegek felületi érdessége

Fémbélyeg száma	Közepes felületi érdesség, R_a μm	Megmunkálás iránya
1	1,0	hosszirány
2	1,0	keresztirány
3	0,5	hosszirány
4	0,5	keresztirány

A fémbélyeg felületi hőmérsékletének a részlegesen kristályos polimerek esetében a kristályos olvadáspont felett, az amorf polimerek esetében pedig az üvegesedési hőmérséklet felett kell lennie. A körülményeket úgy kell megválasztani, hogy a felület elég lágy legyen a leképezéshez, de az egész minta ne olvadjon fel.

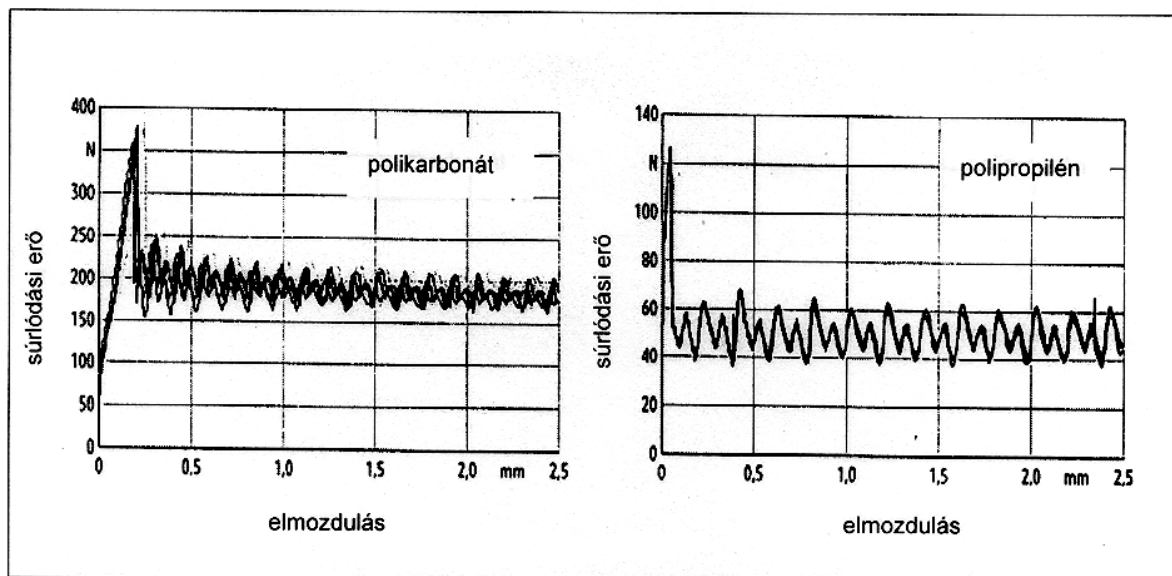
A próbatestként használt lapokat a GE Plastics cég Lexan 141R polikarbonátjából (PC, amorf műanyag) és a Montell cég Hifax BA238B3 poli-propilénjéből (PP, részlegesen kristályos műanyag) fröccsöntötték.

A mérések során a fémfelület, a hőmérséklet és a tapadás (a leképezés) hatását vizsgálták a súrlódásra. A 2. táblázat mutatja a paraméterek megválasztását a kétféle műanyag és a négyféle fémfelület esetében. Az előkísérletekben a PC-hez 170 °C-os, a PP-hez 150 °C-os „leképezési” (reprodukciós) hőmérsékletet alkalmaztak. A reprodukált felületek súrlódását szobahőmérsékleten (T_{teszt1}) és egy olyan hőmérsékleten (T_{teszt2}) mérték, amelyen a fröccsdarabokat általában kiveszik a szerszámból (ez PC-nél 80 °C, PP-nél 50 °C). Azokban az esetekben, ahol nem következett be felületi leképezés, csak szobahőmérsékleten végezték el a mérést.

A 3. ábra mutatja egy-egy méréssorozat eredményeit a PC és a PP típusú anyagokra. Az egy méréssorozaton belüli eredmények hasonlósága azt

A vizsgálatokban alkalmazott változó és állandó paraméterek

Változó paraméterek	A változtatás módja
Műanyagfajta	polikarbonát (PC) polipropilén (PP)
A fémbélyeg felületi érdessége	0,5 μm 1,0 μm
A felületmegmunkálás iránya	hosszirány keresztirány
A felület leképezése	igen nem
Vizsgálati hőmérséklet (T_{teszt})	Szobahőmérséklet: $T_{\text{teszt1}} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ Jellemző termék kivételi hőmérséklet: $T_{\text{teszt2}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ PC-nél $T_{\text{teszt2}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ PP-nél
Állandó paraméterek	Érték
Normál erő (F_N)	442 N
Reprodukciós idő (t_{rep})	1 min
Vizsgálati sebesség (v_{teszt})	10 mm/min
Teljes elmozdulás (Δs)	2,5 mm
A fémbélyeg anyaga	St 37



3. ábra A súrlódási erő az elmozdulás függvényében
(hét görbe – egy teljes mérési sorozat eredményei)

bizonyítja, hogy maga a mérés reprodukálható. A PC és a PP görbék lefutásának jellege azonban eltérő. A polikarbonáton mért maximális súrlódási erő 2–3-szor nagyobb, mint a polipropilénen mért erő, és a maximális erő elérésig megtett út is 3–5-ször nagyobb. A maximális erő elérése után a görbék már hasonlóak, és megmagyarázhatók a megmunkálás, ill. az elmozdulás viszonylagos irányával. A PC erő-elmozdulás görbéi nem mutattak maximumot, ha előzőleg nem következett be a felületi reprodukció, ezért ott tapadási súrlódási együttható nem is mérhető. Az eredményeket a 3. és a 4. táblázat foglalja össze. A PC magasabb hőmérsékleten mérhető súrlódási együtthatói nagyobbak, bár a különbség elsősorban a durvább felületeknél érzékelhető. A PP-n „leképezés” hiányában is észlelhető erőmaximum a görbéken, tehát a súrlódási tényező kiszámítható, de kisebb, mint a reprodukált felületeken. Itt, a PC-től eltérő módon, az alacsonyabb hőmérsékleten mért súrlódási tényezők adódtak nagyobbak.

3. táblázat

A polikarbonáton mért súrlódási együtthatók

Vizsgálati körülmények			
Felületreprodukció létrejötté	igen	igen	nem
Mérési hőmérséklet, T_{teszt}	24 °C	80 °C	24 °C
Fémbélyeg megmunkálási iránya és felülete:	Súrlódási együttható		
hosszirány, $R_a=1,0 \mu\text{m}$	0,62	0,81	–
keresztirány, $R_a=1,0 \mu\text{m}$	0,65	0,84	–
hosszirány, $R_a=0,5 \mu\text{m}$	0,55	0,65	–
keresztirány, $R_a=0,5 \mu\text{m}$	0,57	0,65	–

4. táblázat

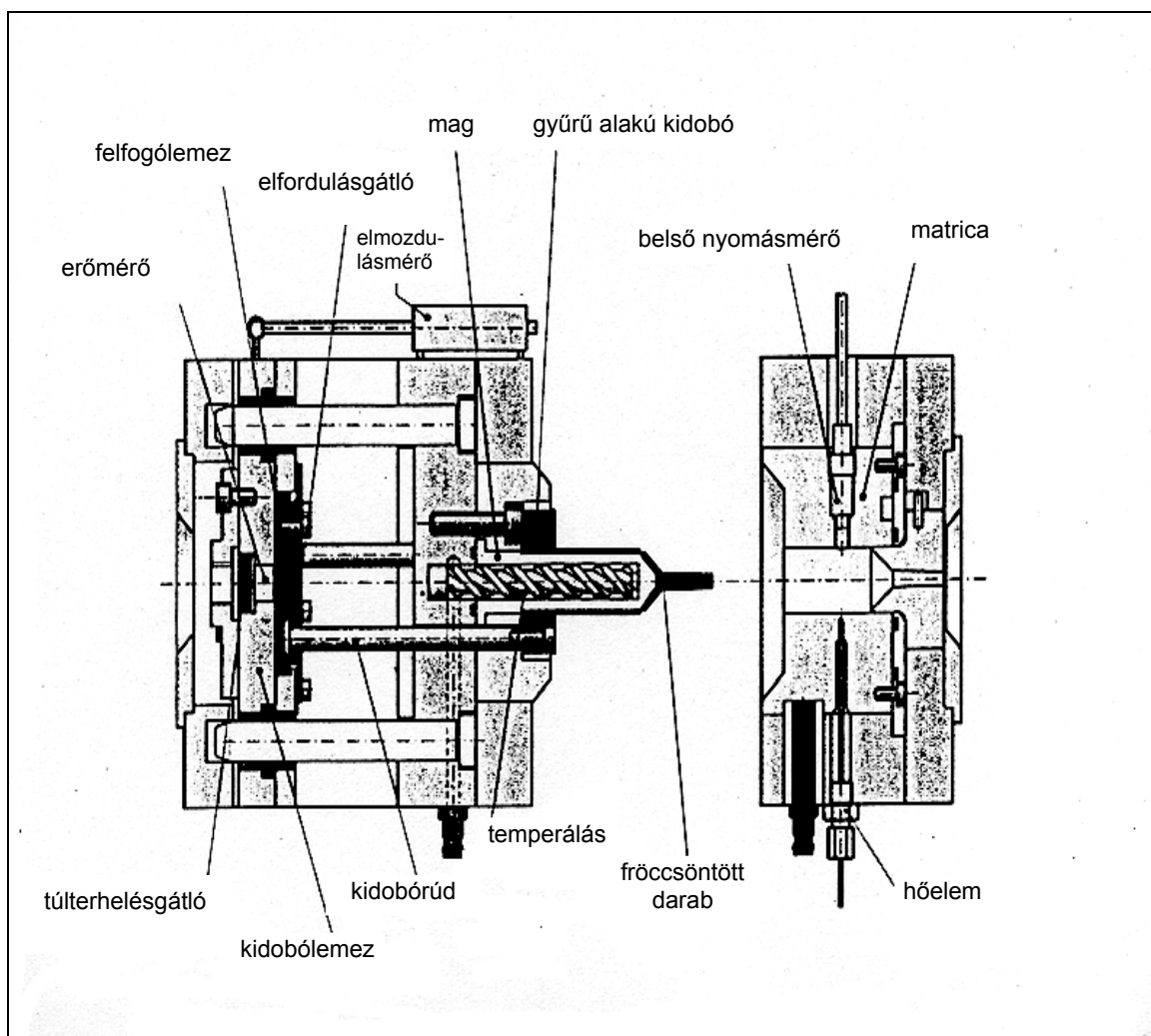
A polipropilénen mért súrlódási együtthatók

Vizsgálati körülmények			
Felületreprodukció létrejötté	igen	igen	nem
Mérési hőmérséklet, T_{teszt}	24 °C	50 °C	24 °C
Fémbélyeg megmunkálási iránya és felülete:	Súrlódási együttható		
hosszirány, $R_a = 1,0 \mu\text{m}$	0,38	0,33	0,26
keresztirány, $R_a = 1,0 \mu\text{m}$	0,31	0,28	0,23
hosszirány, $R_a = 0,5 \mu\text{m}$	0,33	0,31	0,30
keresztirány, $R_a = 0,5 \mu\text{m}$	0,36	0,36	0,33

Az új módszerrel az eddigi szabványos vizsgálatoknál megbízhatóbban lehetett vizsgálni a fröccsszerszámokban a darab kivételkor fellépő súrlódási erőket.

A formadarab eltávolításához szükséges erő mérése magában a fröccsszerszámban

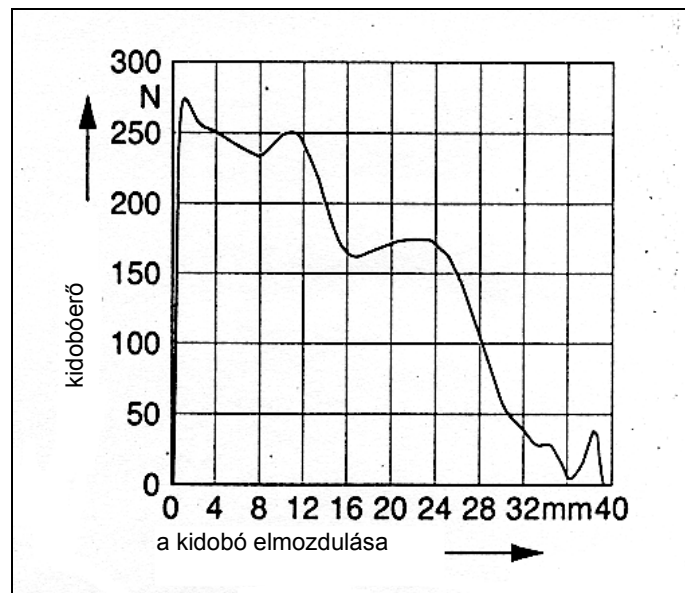
A stuttgarti egyetemen több céggel együttműködve tervezték és készítették el a 4. ábrán látható szerszámot, amely lehetővé teszi az érdesség, a szerszámfelület-bevonatok és a szerkezeti anyagok hatásának tanulmányozását a kidobóerőre. A fröccsöntött hüvely eltávolításakor nem csak tapadó- és csúszósúrlódás lép fel, hanem az adhézió is jelentősen befolyásolja azt, hogy mekkora erővel vehető ki a termék a szerszámból.



4. ábra A hüvelyek fröccsöntéséhez használt fröccsszerszám vázlata

Az ernyőbeömléssel és gyűrű alakú elosztóval fröccsöntött, 40 mm hosszú, 20 mm belső átmérőjű, 1,5 mm falvastagságú hüvely a hűtés alatt rázsugorodik a központi magra, és elválik a külső szerszámrésztől. Ennek során egy normálerő lép fel, amelynek nagysága az adhéziós, tapadási és súrlódási erőkkel együtt határozza meg a darab eltávolításához szükséges erőt. A hüvely kivételét egy gyűrű alakú kidobóval oldották meg. Az erőmérőt a kidobórendszer alaplapja és a gyűrű alakú kidobót működtető szerkezet közé helyezték el, így az a kidobáshoz szükséges erőt a kidobóegység többi részének mozgása során fellépő súrlódás nélkül méri. A kidobáskor egyszerre mérik az erőt és az elmozdulást, és több helyen mérik a szerszámhőmérsékletet és a nyomást. A számítógépen rögzített adatokból megállapítható a kidobóerő, az elmozdulás és a munka. A szerszám felépítése lehetővé teszi a központi mag kicserélését, ami megkönnyíti a különböző szerkezeti anyagok, bevonatok és a felületi érdesség hatásának vizsgálatát. A vizsgálathoz különféle kopásállóságot növelő és csúsztató bevonatokkal (TiN, Ti-AlN, CrN, WC/C) ellátott, eltérő felületi érdességű magokat használtak. Voltak kis súrlódású fémekből (pl. Ampco-fémekből) készült magok is, amelyeknek a felületét többféle módon munkálták meg.

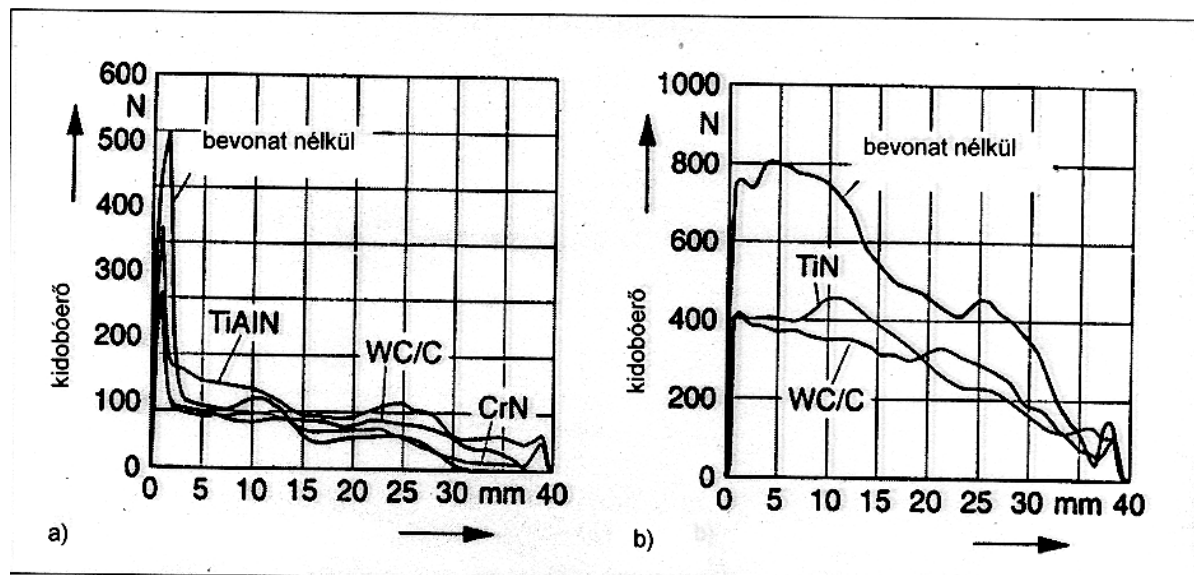
Mivel a különböző műanyagok eltérő feldolgozási körülményei miatt nem azonosak a zsugorodási, adhéziós és súrlódási viszonyok, a kidobóerőket nem lehet egymással közvetlenül összehasonlítani. Ennek ellenére az amorf és a részlegesen kristályos műanyagok elég hasonló lefutású görbéket adtak.



5. ábra A magátmérő változásának hatása a kidobóerőre

A vizsgálatok kimutatták, hogy a felületi bevonatok mellett a kidobóerő nagyságában igen fontos szerepet játszanak a legkisebb felületi sérülések, geometriai eltérések is a szerszámmag felületén. Kézi polírozáskor pl. jelentős eltérések lépnek fel az ideális hengerformától ($\pm 0,005$ mm eltérés az átlagos átmértől), és már néhány μm -es eltérés is nagy különbségeket okoz az erőelmozdulás görbén (5. ábra). Ezeket az ingadozásokat számításokkal is szimulálni lehet, bár a mért erők lényegesen nagyobbak, mint a számítottak, különösen a merevebb (pl. töltött, erősített) műanyagoknál.

A vizsgálatokból kiderült, hogy a mérhető erők erősen függenek az adott műanyag és a felületkezelés kombinációjától, bár ma még általános érvényű következtetéseket nem lehet levonni. Annyi mindenesetre látszik, hogy a kopás csökkentése érdekében felvitt bevonattal csökkenteni, de adott esetben növelni is lehet a kidobóerőt. A mechanikai és kémiai kopással szembeni ellenállást növelő adalékoknak hátrányos mellékhatásai is lehetnek (6. ábra) A hosszabb szerszám-élettartammal szemben figyelembe kell venni az esetleg nagyobb kidobóerőt, és dönteni kell a hátrányok és előnyök fontosságáról.



6. ábra A szerszámbevonat hatása a kidobóerőre különböző műanyagok fröccsöntésekor. (a-PE-LD, szerszámhőmérséklet $35\text{ }^{\circ}\text{C}$; b-PPU*, szerszámhőmérséklet $55\text{ }^{\circ}\text{C}$)

[* Talán poli(fenilén-szulfon), amelynek a rövid jele PPSU. A szerkesztő megjegyzése.]

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Muschalle, R.: Reibungsverhalten thermoplastischer Kunststoffe. = Kunststoffe, 91. k. 12. sz. 2001. p. 48–54.

Burkard, E.: Verbessertes Entformungsverhalten durch Werkzeugbeschichtung. = Maschinenmarkt, 2001. 22. sz. máj. 28. p. 22–25.