

# MŰANYAGOK FELDOLGOZÁSA, ADDITÍV TECHNOÓGIÁK

## Speciális módszerek fröccsszerszámok temperálására

A fröccsöntésnél a gyártási ciklus időigényének jelentős részét teszi ki a hűtési idő és ezáltal termelékenységét is nagymértékben befolyásolja. Ezt gyakran a szerszámnak forró pontjai, vagyis azon részei határozzák meg, amelyeket a hagyományos vízűtési módszerekkel nem lehet elérni, és ezért csak lassan hűlnek le. E problémán segít az ilyen részek folyékony szén-dioxiddal vagy nitrogénnel töltött, vízűtési rézpálcák segítségével végzett hűtése. A szerszám alakadó felületeinek magasabb hőmérséklete a termék jobb felületi minőségét, a finom részletek pontosabb leképezését eredményezi, továbbá növeli a méretstabilitást és javítja a mechanikai jellemzőket. A szerszámok egyes részein a hőmérséklet dinamikus, lézerbesugárzással elért változtatása lehetőséget ad a minőségi és a gazdaságossági célok összeegyeztetésére.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; szerszámtemperálás; lézertechnika; PC; szén-dioxid.*

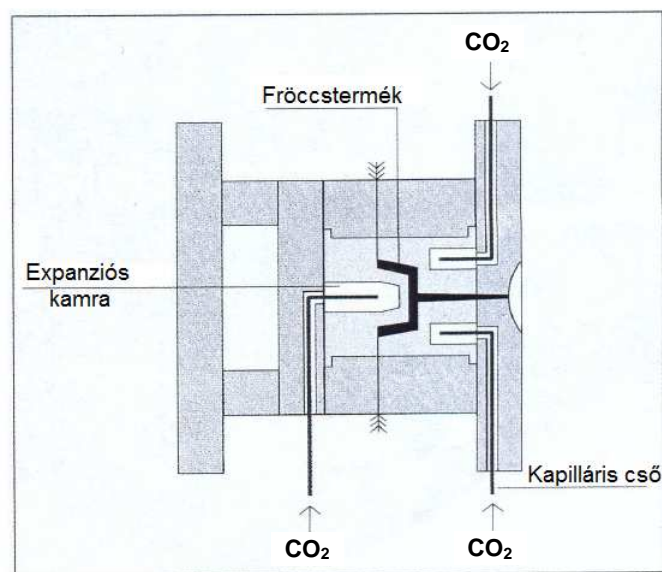
A fröccsöntés a műanyag-feldolgozási technológiák egyik legelterjedtebben alkalmazott, sok milliárd dolláros piacot ellátó eljárása, amelynek alkalmazása erőteljesen bővül különböző területeken, mint amilyen pl. a gépkocsigyártás, az egészségügy, a repülőgépgyártás, a játékipar, a szórakoztató elektronikai és háztartási cikkek, csomagolóanyagok, épületgépészeti és építőipari termékek.

### Forró pontok hűtése szén-dioxiddal

Fröccsöntéskor a gyártási ciklus időigényének jelentős részét teszi ki a hűtési idő és ezáltal a termelékenységet is nagymértékben befolyásolja. Gyakori eset, hogy a fröccsöntő szerszámok bizonyos kis részei, mint amilyenek a kisméretű magok, pánatok, kidobócsapok, csúszkák stb. méreteik vagy a szerszám konstrukciója miatt nem érhetők el a hagyományos vízűtés csatornáival, és ezáltal sokkal lassabban hűlnek le, mint a szerszám többi része. Az ilyen „forró pontok” jelenléte általában megnöveli a hűtési időt, így jelentősen csökkenti a gyártási folyamat termelékenységét és ezáltal nyereségességét. *Az általánosan alkalmazott ökölszabály szerint ugyanis minden 1 °C hőmérséklet-eltérés 2%-kal növeli meg a hűtési időt, a forró pontok hőmérséklete pedig átlagosan 20 °C-kal magasabb, mint a többi szerszámrészé.*

E problémán segíthet a Linde cég és a német ISK GmbH szabadalmaztatás alatt álló eljárása (1. ábra), amelynek során kapilláriscsöveken át, nagy nyomással (~58

bar) folyékony szén-dioxidot vezetnek a szerszám forró pontjaiban kialakított ún. expanziós kamrákba. Ezeket vagy közvetlenül a szerszámtestbe fúrják bele, vagy üreges betétek formájában helyezik be. Az expanziós kamrákban a nyomásesés hatására a folyékony CO<sub>2</sub> először szilárd pelyhekké formálódva erőteljesen lehül (szárazjég), majd szublimálva gázzá alakul és a csőbevezetés melletti résen át az üzem légtérébe távozik. A szén-dioxid halmazállapot-változása erőteljes hőelvonással jár, amely lehűti a környezetében lévő szerszámrészt (a forró pontot). *Ezt a módszert a már használatban lévő szerszámokon utólag is be lehet vezetni.* A szükséges berendezések viszonylag csekély beruházással beszerezhetők és a termelés jelentősebb megszakítása nélkül, könnyen telepíthetők. Egy gépkocsi-fényszóróház fröccszerszámában például a víz-hűtés kiegészítéseként a forró pontokat folyékony szén-dioxiddal hűtötték le, és ezáltal 45%-kal csökkentették a hűtési időt.

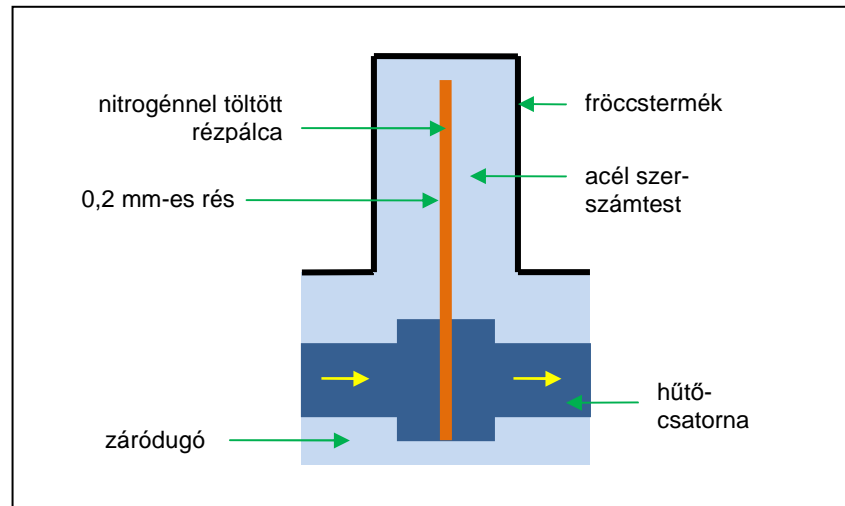


1. ábra A szén-dioxidos szerszámhűtés elvi vázlatja. A folyékony CO<sub>2</sub> nagy nyomással áramlik be a kapilláriscsöveken a hűtendő szerszámrészekben kialakított expanziós kamrákba, majd onnan gáz formájában a szabadba

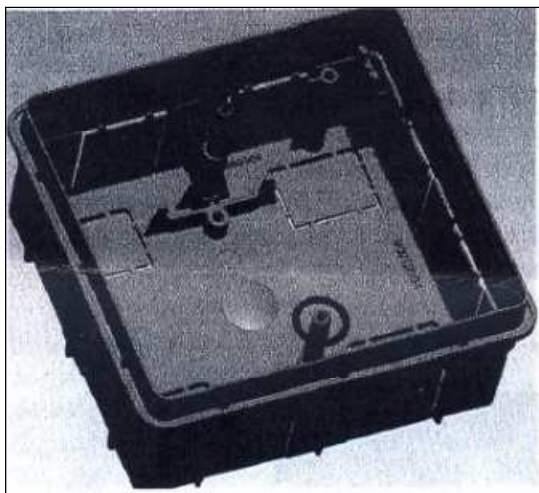
A Linde szakemberei támogatást nyújtanak az eljárás alkalmazásához, amelynek során hőkamerával azonosítják be a szerszám forró pontjait, majd meghatározzák a szükséges csővezetékek hosszát és a gáztároló egység méreteit. A folyékony gáznak megfelelő hőmérsékletűnek és buborékmentesnek is kell lennie. Kisebb üzemekben elegendő néhány gázpalack használata, nagyobb üzemekben azonban egy megfelelő nyomást biztosító, szivattyúval ellátott CO<sub>2</sub> tartályra van szükség. A gáz megfelelő időpontokban elinduló áramlását elektromágneses szelepek irányítják, amelyek vezérlőegységét össze kell kapcsolni a fröccsöntő gép PLC-jével. A legtöbb gázgyártó elég nagy tisztaságú (>99,98%) szén-dioxidot szolgáltat, ezért (a vízhűtéssel ellentétben) nem kell tartani attól, hogy a szennyeződések kirakódva eltömítik a kapilláriscsöveket.

## Forró pontok hűtése rézpálcákkal

A forró pontok gyors lehűtésére irányul a török Viko Elektrikve Elektronik Endüstri va San.A.Ş. cég szabadalmaztatott eljárása is, amely nitrogénnel töltött rézpálcát alkalmaz a kis átmérőjű, tehát a hagyományos hűtőcsatornák számára megközelíthetetlen kinyúló szerszámrészek (pl. szemek, kupolák furatai) intenzív hűtéséhez (2. ábra).



2. ábra A nitrogénnel feltöltött rézpálca felső kétharmada nyúlik be az acélszerszám hűtendő nyúlványába, alsó része pedig egy hagyományos vizes hűtőcsatornába merül



3. ábra Elektromos biztosítékok műanyag háza olyan kiemelkedő szemekkel, amelyeknek a furatát létrehozó csapok a szerszám forró pontjait jelentik

A módszer alkalmazását elektromos biztosítékok házájának példáján mutatták be (3. ábra). A magasan kiemelkedő szemek furatainak belső átmérője 7 mm, ami gyakorlatilag lehetetlenné teszi a létrehozásukhoz szükséges acél szerszámcsapokban víz-

hűtő csatornák kialakítását. A termék kidobása után azonnal végrehajtott infrakamerás mérések szerint – miközben a szerszám többi része már lehűlt – a szemek hőmérséklete még mindig 73 °C volt. Az új módszer alkalmazása esetén ez az érték 45 °C-ra csökkent.

Elméletileg egy adott falvastagságú (s) fröccstermék hűtési idejét ( $t_k$ ) a következő képlettel lehet kiszámítani:

$$t_k = 0,165 \frac{s^2}{a_{eff}}$$

ahol  $a_{eff}$  az effektív hővezető képesség [ $\text{mm/s}^2$ ].

Az adott termék, amelynek falvastagságát a felhasználás igénybevételei határozták meg, elméleti hűtési ideje 20 s értéknek adódott, amelyet a forró pontok lehűlése 40 s-ra növelt meg. Ez nem csak a termelékenység (és ezáltal a nyereségesség) romlását jelenti, hanem jelentős többletenergia felhasználását is.

Az eljárást először laboratóriumi körülmények között vizsgálták, majd ennek eredményességét követően egy már meglévő fröccsszerszám átalakításával is tesztelték. Miután ez is sikeresnek bizonyult, a termékcsalád többi tagján is alkalmazták (1. táblázat), amivel jelentős mértékben növelték a termelékenységet.

A termelékenység növelése mellett a kilenc szerszámmal a cég kalkulációja szerint évente 47 790 kWh energiát takarítanak meg, ami 20 t szén-dioxid kibocsátásának felel meg.

1. táblázat

Elektromos biztosíték házak forró pontjait rézpálcás módszerrel lehűtő eljárás hatása a ciklusidőre

Termék sorszáma	Biztosítékok száma a házban	Ciklusidő, s		Termelékenység-növekedés, %
		Eredetileg	Az új módszerrel	
1	2	30	25	17
2	4	39	21	46
3	6	30	23	22
4	8	30	23	23
5	12	32	26	19
6	16	39	27	31
7	18	38	26	32
8	24	38	26	32
9	36	39	23	41

A gazdasági és környezetvédelmi előnyök mellett a forró pontok hatékony hűtése javítja a termék minőségét, csökkenti a beszívódások, üregek és elszíneződések kialakulásának esélyeit.

## **Variotherm temperálás külső lézerberendezéssel**

A precíziós fröccstermékek felé egyre fokozódnak az elvárások a felületi minőség, a méretpontosság és a mechanikai tulajdonságok iránt. Emellett mind a funkciók, mind pedig a gyártási folyamatok integrációja növekvő irányzatot mutat. A magas szintű felületi minőség létrehozásában a dinamikus szerszámhőmérséklet szabályozása kínál megoldásokat az egymásnak ellentmondó célok összeegyeztetésére.

Egy fröccstermék jellemzőit nagymértékben befolyásolja, hogy az alakadó szerzsámrészek milyen melegek, amikor a műanyagömladék formázódik, és az anyag megszilárdul. A magas szerszámhőmérséklet általában jobb tulajdonságokat biztosít, ugyanakkor a termék lehűtése a kiemeléséhez szükséges hőmérsékletre tovább tart, ami a ciklusidő növelésével rontja a gyártás gazdaságosságát. A megoldást a *Variotherm* elnevezésű szerzsámtemperálás jelenti, amely *az alakadás során magas, a lehűtés során alacsony szerszámhőmérsékletet hoz létre*. Ennek során a szerzsám alakadó részét egy alacsony alaphőmérsékletre temperálják, és csak a befröccsöntés fázisában emelik meg a szerzsámfészkek hőmérsékletét.

A *Variotherm* eljárásban az alapterperálást legtöbbször hűtőfolyadék (általában víz) szerzsámfalban kialakított hűtőcsatornákon át megvalósított keringetésével oldják meg. Az alakadó fészkek hőmérsékletének ideiglenes megemelését különböző módszerekkel lehet elérni, amelyek mindegyikének van előnye és hátránya. Ugyanakkor ezekre jellemző, hogy egy adott szerzsámhoz és egy adott termékhez kötődnek, ami alkalmazásuk kiterjesztését más termékekre rugalmatlanná teszi. Ilyen megoldás lehet egy átmenetileg magas hőmérsékletű folyadékot keringető második hűtőkör kialakítása, vagy a fészkek falának hőmérsékletét indukciós fűtéssel megemelő megoldás.

A német Műanyag-feldolgozó Intézet (IKV) munkatársai a probléma kezelésére dolgozták ki a *külső lézerforrással végzett helyi felmelegítés módszerét*. Ennek során az alacsony hőmérsékletre temperált szerzsám szétnyitása után egy nagy sebességgel, irányítottan pásztázó lézersugárnyalábbal melegítik fel a szerzsámfészkek belső falát olyan magas hőmérsékletre, hogy az a lézerforrás kiemelésé és a szerzsám összezárása utáni lehűlése során is még elég magas marad ahhoz, hogy a befröccsöntéskor még elég meleg legyen, de utána gyorsan felvéve a szerzsám alaphőmérsékletét ne igényeljen hosszú hűtési időt.

Az IKV-nál már korábban is használatban lévő, de a szerzsámba beépített lézeres fűtések 300 K/s felhevítési teljesítményre voltak képesek, és rendelkezésre álltak a megfelelő lézeroptikai és hőmérsékletmérő/szabályozó eszközök is. E rendszer azonban csak az adott szerzsámnál működött, nem lehetett általánosan alkalmazni.

*A beépített lézeres hőmérséklet-növelő módszer*  
előnyei:

- nincs szükség mozgató mechanizmusra,

- a felfűtés a befröccsöntéssel egyidejűleg kezdődhet,
- nem juthat ki a lézersugár az üzem légtérébe;

hátrányai:

- drága sugárvezető optika beépítése szükséges a szerszámba,
- magas szerszámki költség.

*A külső lézeres hőmérséklet-növelő módszer*

előnyei:

- kisebb szerszámki költség, mivel nem kell a szerszámot módosítani,
- utólag is alkalmazható,
- a fészkek gyakorlatilag egyidejűleges felhevítése lehetséges;

hátrányai:

- a sugárforrás kiemelése és a szerszámzárás ideje alatt a fészkek hűl,
- költséges biztonsági eszközök kellenek, hogy a lézersugár ne okozhasson balesetet.

Az új módszerben a szerszám szétnyitását követően egy robotkar lendíti be az egy sugárvezetővel és egy 2D pásztázó egységgel (*Rhino 31*, Arges GmbH) ellátott lézersugárforrást (*LDF 1500-2700*, Laserline GmbH) a szerszám zárósíkjába. A dióda lézer hullámhossza  $940/980 \pm 10$  nm, kimeneteli teljesítménye 2,7 kW, a sugár átmérője 4,2 mm a 160 mm-es fókuszsíkban. A lézerpásztázás segítségével a sugarak egy 240x240 mm-es felületen képesek a különböző szerszámok kijelölt részeit (az alakadó fészkek belső felületét) szelektíven felmelegíteni. A sugárakusztika segítségével állítani lehet a sugárnyaláb átmérőjét, amely elsősorban a sugárforrás és a szerszámfészkek távolságától függ. Mivel a pásztázás sebessége nagyon nagy (25 000 mm/s), gyakorlatilag egyidejűleg lehet valamennyi szerszámfészket felmelegíteni azáltal, hogy gyorsan váltakozva irányítják rájuk a sugárnyalábot. Az energia elnyelését a felület minősége és strukturáltsága is erősen befolyásolja. A polírozott sima felület nyeli el legkevésbé a sugárzott energiát, a mikrostrukturált, és/vagy speciális bevonattal ellátott felületek elnyelési aránya lényegesen nagyobb. Mikrostrukturált felületen 2,38-szor nagyobb energiaelnyelést tapasztaltak a kísérletek során, mint sima, polírozott felületeken.

A lézerforrás kiemelése és a szerszám összezárása közötti, „kezelési idő” elnevezésű időtartam 3 másodperc. Ez idő alatt (vagyis a műanyagömladék befröccsöntéséig) a besugárzással felhevített szerszámrészek valamilyen mértékben lehűlnek, de még jóval melegebbek maradnak, mint a szerszám többi része. A sugárzás hatására a hővezetés következtében a besugárzott felület alatti rétegek is felmelegednek. Ezért nem mindegy, milyen intenzitású a besugárzás.

A besugárzás ideje is növeli a gyártás ciklusidejét, ezért egy bizonyos időtartamot nem célszerű túllépni. A kísérletek során 30 másodperces besugárzást végeztek különböző lézerteljesítményekkel. A 3 másodperces kezelési idő után kezdődő befröccsöntés időpontjában a szerszámfészkek felületének hőmérséklete így a besugárzás intenzitásától függött. Megállapították, hogy a vizsgált tartományban lineáris összefüggés tapasztalható a lézer teljesítménye és a befröccsöntési időpontban mérhető szerszámhőmérséklet között. Az ennek alapján felvehető kalibrációs egyenes segítsé-



gével továbbá kimutatták, hogy a megcélzott 155 °C-os szerszámhőmérséklet ( $T_{cél}$ ) 370 W lézerteljesítménnyel ( $P_{intrapolált}$ ) érhető el.

Konfokális lézermikroszkóppal megállapították, hogy a szerszámfelület mikrostruktúráját a besugárzással felhevített műanyagfelület lényegesen jobban képezi le a lézer alkalmazását mellőző, hagyományos fröccsöntéshez képest.

Összeállította: Dr. Füzes László

Stanley J.R., Praller A.: Reduce cycle times up to 50% in injection molding = *Plastics Engineering*, 71.k. 7. sz. 2015. p. 20–22.

Ilbay S.S., Kandemir A.: Doppelt so schnell mit Stickstoffkühlung = *Kunststoffe*, 103. k. 8. sz. 2013. p. 82–84.

Hopmann Ch., Lammert N.,Heinisch J.: Laserbasierte dynamische Werkzeugtemperierung = *Kunststoffe*, 105. k. 1. sz. 2015. p.18–22.