

## Energia- és költségmegtakarítás alkalmas fröccsöntő szerszámokkal

A fröccsöntő üzemben a gyártási folyamat optimalizálása mellett a megfelelő szerszám alkalmazásával is nagyon sok pénzt lehet megtakarítani. Ez mindenekelőtt a meglévő szerszámok folyamatos karbantartását jelenti. A szerszámgyártók azonban számos újdonsággal is igyekeznek a feldolgozás energiaigényét csökkenteni és termelékenységét növelni.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; fröccsszerszám; szerszámkonstrukció; temperálórendszer; energiamegtakarítás; költségmegtakarítás*

A műanyag-feldolgozók általában tisztában vannak azzal, hogy az ún. „szerszámhőmérséklet” a hűtési idő hosszán kívül a termék minőségét is befolyásolja, de sokszor nem világos számukra, hogy ez valójában a szerszámfal hőmérsékletét, ill. az éppen elkészült termék teljes felületének hőmérsékletprofilját jelenti, amely nem azonos a hőmérséklet-szabályozó berendezés kijelzőjén látható hőmérsékletértékkel. Ha elkészítik a szerszámából éppen kiemelt termék termogramját, az néha igencsak meglepően eltérő hőmérsékletű felületrészeket mutat.

A fröccsöntött darab tulajdonságait (pl. mechanikai szilárdság, felületminőség, mérettartás, vetemedés) közvetlenül befolyásolja a szerszám falának hőmérséklete, amelyek emellett a hűtés időtartamát, ezáltal a ciklusidőt, azaz a gyártás gazdaságosságát is meghatározza. *Becslések szerint a szerszámfal hőmérsékletének 1 °C-os növekedése a hűtés időtartamát 2%-kal növeli meg.* Egy sík lap esetében a hűtés elméleti időtartamát ( $t_K$ ) a következő egyenlettel lehet kiszámítani:

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\vartheta_M - \bar{\vartheta}_w}{\bar{\vartheta}_e - \bar{\vartheta}_w} \right), \text{ ahol}$$

$s$  = falvastagság,  $\vartheta_M$  = anyaghőmérséklet a befröccsentéskor,  $\bar{\vartheta}_w$  = a szerszám falának hőmérséklete,  $\bar{\vartheta}_e$  = a darab felületének átlagos hőmérséklete kivételkor,  $a_{eff}$  = effektív hővezető képesség

A fröccsöntő szerszám a formaadás feladata mellett a hőcserélő szerepét is ellátja. A hűtőcsatornák optimális elhelyezése az előfeltétele a gyors és egyenletes hőcserének. Ennek érdekében *célszerű a hűtőcsatornákat a fészek közelében vezetni úgy, hogy kövessék a fészek körvonalát.*

A hűtés fázisában a temperálócsatornáknak áramló, hőenergiát hordozó közeg veszi fel a szerszámba fröccsentett műanyagömladék hőtartalmának egy részét, majd a felvett hőt átadja közvetlenül a hűtőberendezésnek vagy a temperálóberendezésnek az abban lévő hőcserélőn keresztül. Kitűnő hőátadási tulajdonságai miatt közegként legtöbbször vizet használnak. Az időegység alatt átadott hőmennyiség a hőcserélő felületek nagysága és a hőmérséklet-különbség mellett függ a hőátadási tényezőtől is ( $k$ ). Ez a feldolgozott műanyag és a víz anyagi jellemzői mellett a hőcserélők hővezető képességétől ( $\lambda$ , lásd *1. táblázat*) is függ a következő egyenlet szerint:

$$\dot{Q} = A \cdot k \cdot \Delta \vartheta_m, \text{ ahol}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ ahol}$$

$\dot{Q}$  = hőáram,  $A$  = hőcserélő felület,  $\Delta \vartheta_m$  = hőmérséklet-különbség,  $s_i/\lambda_i$  = a hővezető rétegek vastagságának és hővezető képességének hányadosa,  $\alpha_1, \alpha_2$  tényezők.

1. táblázat  
Különböző anyagok hővezető képessége

Anyag	Hővezető képesség, $\lambda$ , W/m×K
Vas	67
Acél (0,6% C)	46
Erősen ötvözött szerszámacél	10–40
Alumínium	221
Réz	393
Kazánkő	0,08–2,2
Oxidált acél	1–5
Polisztirol	0,17
Poliamid	0,25–0,27
Polietilén	0,35–0,45
Ásványgyapot	0,04

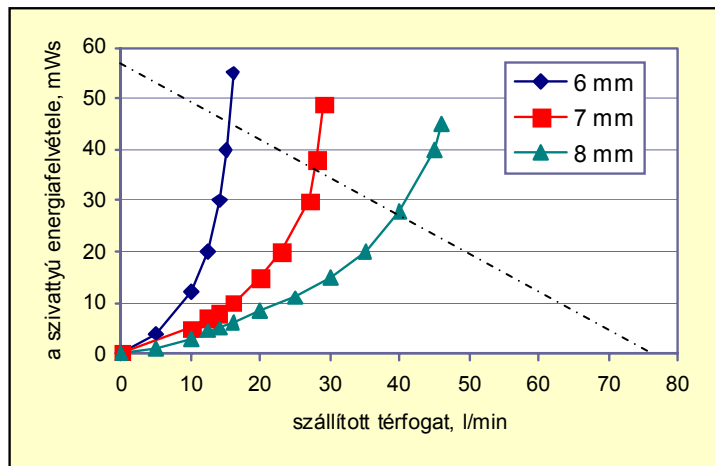
A fröccsöntő üzemeknek fogalmuk sincs arról, hogy mennyi energiát és pénzt takaríthatnak meg a szerszámok rendszeres karbantartásával és a temperálóvezetékek tisztán tartásával. Erre vonatkozó számításokat a **gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH**-nál (Kriespe) végeztek. Ugyanez a cég fészek közeli ellenállásfűtéssel és hűtőfolyadékkal temperált szerszámaival járul hozzá a fröccsöntés gazdaságossá tételéhez. A **Konstruktionsbüro Hein** (Neustadt am Rübenberge) *IsoWe* elnevezésű szerszámkészítési elve szerint a szerszámoknak csak az aktív részeit fűti és hűti, és ezeket hőszigeteléssel választja el az állandó hőmérsékletű szerszámtesttől.

## Szerszámkarbantartással megtakarítható költségek

A szerszámgyártásban használt anyagok hővezető képessége sokkal nagyobb, mint a hűtővízből a vezetékek falára kiülepedő ásványi anyagoké. A hőmérséklettől

függően különösen a kisebb áramlási sebességű szakaszokban rövidebb-hosszabb idő alatt ásványi anyagokból és korrózióból származó rétegek alakulnak ki, amelyek jelentősen csökkentik a hőátadást. Ha a szerszámmal magas hőmérsékleten feldolgozható műanyagokat formáznak, a temperálóközegben pedig sok az oxigén és az oldott só, különösen gyorsan következhet be korrózió. Ennek eredményeképpen csökken a  $k$ -érték, növekszik a hűtési idő, romolhat a termék minősége és ugrásszerűen megnövekednek az energiára és a gyártásra fordított költségek. *Ha a hűtési idő 60%-kal nő, a kezdeti üzemi költségek 30%-os növekedésére lehet számítani.*

További veszélyt jelentenek a lerakódott rétegekből a szelepek nyitásakor, a temperálás megindításakor esetleg leváló szilárd darabok, amelyek a közeggel együtt keringenek a rendszerben, és leszűkítik vagy akár el is tömíthetik a vezetékét. Az 1. ábrán látható, hogy mennyivel több energia szükséges egy kisebb átmérőjű vezetékben a folyadékáram továbbításához. A **gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH**-nál kiszámították, hogy egy 1 mm-es korróziós réteg a hűtőcsatornában évente 3 millió EUR veszteséget okozhat a vállalatnak, amely 20 gépen fröccsönt ABS-ből igényes felületű alkatrészeket a villamosipar számára.



1. ábra

A szivattyú effektív teljesítményfelvétele különböző átmérőjű vezetékben a szállított folyadék-térfogat függvényében

1 mm vastag lerakódás a szerszámban a  $\lambda$  hővezető képességet 34 W/mK-ről 14 W/mK-re csökkenti, ami miatt 56%-kal növekszik a hűtés időtartama. Ennek eredményeképpen a tiszta szerszámban gyártott termékek 5%-os selejtje, 22,5 s-os ciklusideje és 12,5 s-os hűtési ideje helyett a lerakódást tartalmazó szerszámból kikerülő termékek között 20% a selejt, 29,5 s a ciklusidő és 19,5 s-ra nő a hűtési szakasz. Ez gépenként évente 57 500 és 143 000 EUR közötti többletkiadást okoz. Ehhez hozzáadódik 90 000 EUR a nagyobb energiafelhasználás miatt és 230 000 EUR a gépleállítások és a szerszámtisztítások miatt. Az üzem 20 gépre számítva a többletköltség 1,47–3,19 millió EUR között van, egy-egy gépre átlagosan 116 450 EUR.

Ehhez képest a megelőző intézkedések (pl. korrózióálló acél és megfelelő bevonattal ellátott vezeték, vízkezeléssel ellátott zárt temperáló- és hűtőrendszer alkalmazása) költségei jóval kisebbek.

Tiszta szerszámok is szennyeződhetnek a szerszámcsere alatt. Ezért célszerű a tárolás előtt vagy a felszerelés előtt a szerszámokat kitisztítani. Ehhez nagy segítséget adnak a speciális tisztítóberendezések. Minél később végzik el a szerszám tisztítását, annál nehezebb a rátapadt szennyeződést eltávolítani, és esetleg mechanikai módszereket is kell alkalmazni. Rendszeres vegyi tisztítás és ezt követő semlegesítés alkalmazásakor általában átáramoltatással tartósan tiszta felületeket lehet kapni.

A teljesen korróziómentes temperálórendszer jó hatással van a termelékenységre és az egy darabra jutó gyártási költségre. A túl hosszú ciklusidő, a nagy selejtszám, a leálló gépek akár a megrendelés teljesítését, ezáltal a vállalat megbízhatóságát is veszélyeztethetik.

*A gwK számításait kiterjesztette egész Németországra. Feltételezései szerint az országban kb. 50 000 fröccsöntő gép dolgozik évi 6000 üzemórában, és ezek 15%-ának hűtési idejét lehetne optimalizálva 30%-kal csökkenteni. Ezáltal 13,5 millió (50 000 x 6000 x 0,3 x 0,15) üzemórát lehetne nyerni, ami 20 EUR/h-val számolva 270 millió EUR megtakarítást hozna.*

A gondolatkísérletet tovább folytatva, és feltételezve, hogy 15 000 gép temperálórendszerét (az összes gép majdnem harmadát) teljesen megóvnák a lerakódástól, a saját üzemükben egy gépre átlagosan kiszámított 116 450 EUR alapján összesen 1747 millió EUR-t sem kellene kiadni, így *Németországban összesen kb. 2 milliárd EUR-ral kevesebbe kerülne a fröccsöntés.*

## **Fészek közeli hűtőcsatornák és kerámia ellenállásfűtés kombinációja**

Az új fröccsöntési technikákban a korábbiaknál fontosabbá vált a szerszámok optimális temperálása. Ennek célja ma már a formadarab kifogástalan minősége mellett az energiatakarékosság. A **gwK Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH** ennek az igénynek a kielégítésére fejlesztette ki fészek közeli hűtőcsatornákból és fészek közeli kerámia ellenállásfűtésből álló temperálórendszerét. A közvetlenül a szerszámbetétekbe épített ellenállásfűtéssel energiahatékony és dinamikus szerszámtemperálás valósítható meg, amely nemcsak a formaadást teszi gazdaságossá, hanem nagyon jó minőségű, fényes felületű, összecsapási varrattól mentes fröccsöntött darabot is eredményez, amely kielégíti az autóalkatrészekkel, a fogyasztási cikkekkel és a telekommunikációs eszközökkel szemben támasztott legkényesebb igényeket is. Az új szerszámtechnika alkalmas vastag falú optikai eszközök gyártására is.

A szerszámfészek falának közvetlen közelébe beépített kerámia fűtőelemek és az ugyancsak közel elhelyezett hűtőcsatornák nagyon gyorsan és nagyon jó energiahasznosítással képesek a hőmérséklet megváltoztatására. A fröccsöntő gép vezérlésének jelére a fészek belső felülete rövid időre annyira melegszik fel, hogy az ömledék könnyedén megtöltse az üreget. Amikor ez megtörtént, a rendszer azonnal hűtésre kapcsol át, hogy a magas hőmérséklet ne nyújtsa meg feleslegesen a ciklusidőt. A gwK szerint ezáltal a szükséges hőmérséklet-változás tized annyi idő alatt következik be, mint a

szokásos varioterm temperálórendszer tartalmazó szerszámokban, és az energiaigény tízszer kevesebb.

A dinamikus fészektemperáláshoz a gwk az *integrat evolution* nevű temperálóberendezést kínálja. Ez több építőelemből áll. A fészek közeli temperálócsatornák beépítéséhez az *integrat 4D* technikát kell alkalmazni. Az energiatakarékos, hűtőcsatornánként csak a szükséges vízmennyiség átáramoltatását szabályozó eszköz neve *integrat direct*. Az *integrat process control* a fűtőelemek és a hűtőcsatornák közötti együttműködést vezérli, továbbá megteremti a **KraussMaffei** cégnél kifejlesztett *Varan* csatlakozási ponton (Schnittstelle) keresztül a fröccsöntő gép vezérlésével az összhangot.

#### *Példák az új temperálóberendezés alkalmazására*

Az új temperálóberendezést a *Fakuma kiállításon* egy nanostrukturált felületű polikarbonátkorong gyártásával mutatták be. A korongot a **KraussMaffei Technologies GmbH** 800 kN-os gépén, a **Gebr. Krallmann GmbH** cégnél gyártott kétfészkes szerszámban fröccsöntötték. A nanostrukturát a **Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA** készítette, ennek funkciója a korong tükrözésmentessége volt. A többkörös fűtést és hűtést az *integrat evolution* szabályozta. Néhány fűtőkör a szerszámtest alaphőmérsékletét állította be. Egy elektromos szabályozómodul a ciklustól függően vezérelte a kerámia fűtőelemek hőmérsékletét, egy másik modul az éppen szükséges hűtővíz áramlásáról gondoskodott. A modulokat vízszintesen egymás mellé helyezve egy állványra szerelték.

Egy másik kiállításon ugyancsak bemutatták a dinamikus kerámia fűtőelemeket. Itt az **Arbourg GmbH + Co KG** függőleges záróegységet tartalmazó fröccsgépén a **gwk** a svájci **Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK)**-val és a **Georg Kaufmann Formenbau AG**-vel közösen fémfólia hátára fröccsöntött polimert. Ebben az eljárásban a fóliára felvitt kötőanyagot aktivizálták a nagy teljesítményű fűtőelemekkel. Ennek köszönhetően a fémfólia és a műanyagréteg között egyenletes kötés képződött, amely a szerkezetet feszültségmentessé és méretállóvá tette. A hűtés időtartama a hagyományos temperáláshoz képest 40%-kal csökkent. Ennél az eljárásnál a szabályozómodulokat függőlegesen egymás fölé szerelték az állványra.

#### *Energiatakarékos modulok a hűtés és a fűtés összhangolására*

A növekedő energiaárak arra kényszerítik a műanyag-feldolgozókat, hogy előre megbecsüljék, hány kWh energiát fordíthatnak egy kg műanyag formadarabokká alakítására. Csak akkor képesek ezeken a korlátokon belül maradni, ha energiamegtakarítást segítő modulokat alkalmaznak. A hűtésnél pl. mérsékelni kell a hideg víz előállításának üzemi költségeit, a fűtésnél pedig hasznosítani kell a felesleges hőt.

A szükséges hőmérsékletet és vizet a lehető legkevesebb energiával akkor lehet biztosítani, ha a temperálóberendezést és a hűtőberendezést energetikailag összehan-

golják. Erre alkalmas pl. a gwk *hermeticool* nevű hűtőberendezése, amely megkülönbözteti az éjszakai és a nappali, illetve a különböző évszakok környezeti hőmérsékletét, és ennek megfelelő energiafelhasználással hűti le a vizet a megfelelő hőmérsékletre. Ezzel, továbbá a hideg víz mennyiségének optimalizálásával és a motor fordulatszámának szabályozásával akár 75%-kal csökkenthetők a hideg vízzel kapcsolatos üzemi költségek. A hidraulika hűtésekor felmelegedett víz felhasználható padlófűtésre vagy hőcserélőn átvezetve más fűtési feladatok elvégzésére.

### *Visszaforgatható energia*

A gwk fejlesztői jelenleg az *Energie-Recycling* nevű projekten dolgoznak, amelynek célja, hogy az ipari folyamatokban és a természetes forrásokban fellépő hőmérséklet-különbségeket külön energiafelhasználás nélkül tudják hasznosítani hűtésre vagy fűtésre. Az energia visszaforgatásában szerepet kaphatnak a napfénykollektorok és az olyan újszerű hűtőgépek, amelyek a meleg vízből hideg vizet készítenek a szerszámhűtéshez. Az adszorpciós elven dolgozó *weco gt* (gt = green technology, zöld technológia) villamos meghajtású kompresszor nélkül, „suttogva” üzemel, és nem tartalmaz környezetre ártalmas hűtőközeget. A gwk tarsolyában ez az eljárás is benne van, és a jövőben ezzel is hozzá akar járulni az energiatakarékossághoz és a környezet védelméhez.

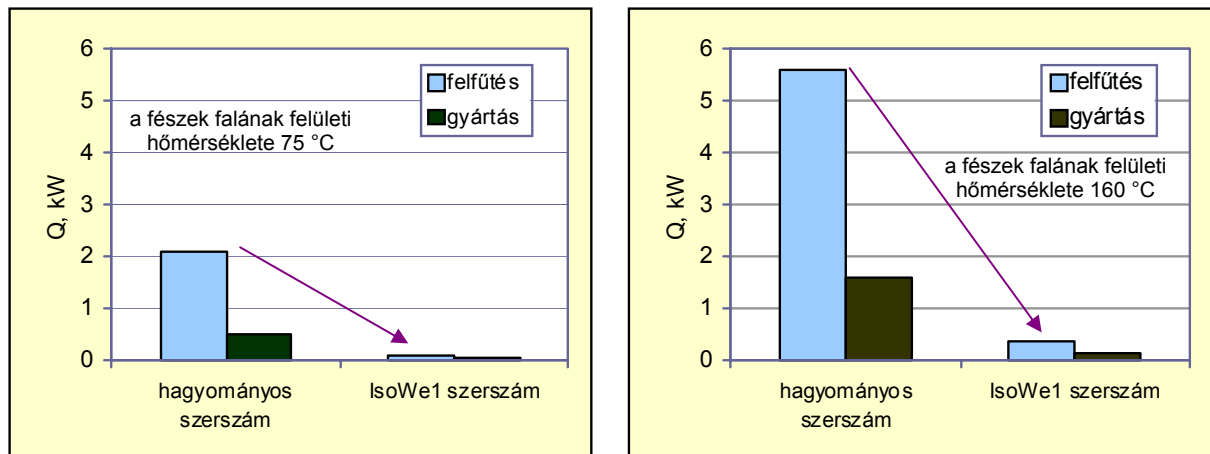
## **Energiamegtakarítás hőszigetelt szerszámbetétek alkalmazásával**

A 2009-es *Fakuma* és *EuroMold* kiállításon mutatta be a **Konstruktionsbüro Hein IsoWe** elnevezésű szerszámkészítési elve szerint felépített fröccsöntő szerszámainak két változatát. Ezek lényege, hogy *a teljes szerszám helyett csupán a szerszámtesttől hőszigeteléssel elválasztott fészket temperálják*. A cégnél hosszabb idő óta tanulmányozták a ciklustól függő temperálás módját minden lehetséges közeggel, és a kifejlesztett eljárással a ciklus folyamán mindenkor tartani tudják a szerszámüreg szükséges felületi hőmérsékletét akár hőre lágyuló műanyagot, elasztomert vagy hőre keményedő műanyagot dolgoznak fel.

### *Az IsoWe elv alkalmazásának előnyei és lehetőségei*

A szerszámtesttől elszigetelt formaadó betétek alkalmazásának számos előnye van. A centírozás, beömlés, temperálás, kidobás moduljait rendkívüli pontossággal illesztik be a szerszámtestbe, és ezek száma és mérete a fészekszámmal növekszik. Mivel csupán az alakadó betéteket kell temperálni, a szerszámzárást követően sokkal rövidebb idő múlva lehet a polimert a szerszámba fröccsenteni, mint a hagyományos eljárásban, ahol meg kell várni, hogy a szerszámtest, a betétek, a gép és a környezet között kialakuljon az egyensúlyi hőmérséklet. A hőszigetelés a hőt a betéteknél tartja meg, azaz ott, ahol a gyártási folyamatban arra szükség van. A fröccsöntés ezáltal

rendkívül energiatakarékosá válik, amit az *EuroMold* kiállításon bemutatott *IsoWe1* szerszámon mért értékek is bizonyítanak (2. ábra). Látható, hogy a hagyományos szerszám felfűtése 75 °C-ra 2,1 kW-ot igényel, az *IsoWe* szerszámé csak 0,1 kW-ot; ha 160 °C-on dolgoznak, 5,6 kW helyett elegendő 0,4 kW. A téli és nyári környezeti hőmérséklet eltérései vagy egy nyitva hagyott csarnokajtó sem borítja fel a rendszer hőegyensúlyát, mert a szerszám aktív elemeit a hőszigetelés megvédi a hőmérséklet-ingadozástól.



2. ábra Egy hagyományos és egy IsoWE szerszám energiafelvétele felfűtéskor és gyártás közben 75 °C-ra, ill. 160 °C-ra temperált szerszámban

Az új (és szabadalmi védelem alá helyezett) szerszámépítési elv nagyon hasznos lehet akkor, amikor sokfészkes szerszámban elasztomert kell feldolgozni. A hagyományos szerszám egyenletes felfűtése erősen megnyújtja a ciklusidőt, és még így is gyakran előfordul, hogy a távoli fészkekben nem térhálósodik ki tökéletesen a formadarab. Ez a fészkek közvetlen fűtése mellett nem történhet meg. A fűtés végezhető gázzal, vízzel, hűtőfolyadékkal, árammal.

Vékony falú termékek gyártásakor is megvalósítható a ciklustól függő temperálás. Ilyenkor csak olyan meghatározott, kis mennyiségű anyagot szabad a kontúrközeli hőmérséklet-változásnak kitenni, amely akkor is átadja hőtartalmát a szerszám acélfalának, ha hővezetése 100-szor kisebb a féménél. A megdermedő műanyag forma falvastagsága 1,5 mm alatt lehet. A fröccsöntés teljesítménye tovább növelhető olyan új acélananyagokkal, amelyek hővezetési tényezője kétszer akkora, mint a jelenleg használt 1.2343 ESU acélé. Az eltérő hőtágulásból eredő gondok a betétek gondos központi centírozása révén elkerülhetők.

Jól hasznosítható az *IsoWe* elv a többkomponensű fröccsöntésben is, ahol a formadarab különböző részeit forgóasztal vagy elforduló lap segítségével két egymás utáni taktusban két különböző polimerből alakítják ki. A közvetlenül fűtött fészkek alkalmazásával nagyon rövid ciklusidővel lehet pl. a lágy részt alacsony hőmérsékle-

ten feldolgozható elasztomerből, a kemény részt magas hőmérsékletet igénylő polimerből készíteni.

Az *IsoWe* elv alaposan átgondolt egyedi megoldásait hamarosan interaktív adatbank formájában felteszik az internetre, és az arra feljogosított felhasználók ennek segítségével maguk is építhetnek szerszámokat, amelyek az egyfészkestől a sokfészkesig nagyon eltérőek lehetnek. A jogosultak akár le is tölthetik az adatbankot és beilleszthetik saját CAD rendszerükbe.

### *Egy szerszámtest – több szerszám*

Az *IsoWe* elv alapján épített szerszámok betéteit hornyokba helyezett rugókkal rögzítik és csatlakoztatják, ami minden síkon pontos centírozást tesz lehetővé. Emiatt egy alapszerszámot (szerszámtestet) újabb betétek behelyezésével többször is fel lehet használni újabb szerszámok elkészítéséhez. Ilyenkor attól függően, hogy hőre lágyuló vagy hőre keményedő műanyagot, ill. elasztomert akarnak fröccsönteni, ehhez megfelelő beömlő- és elosztórendszert kell a szerszámba építeni. Alagútbeömlés esetében vagy nyírást igénylő műanyagok feldolgozásakor ugyancsak speciális betéteket készítenek.

### *Csökken a szerszám tartó lap behajlása*

A szerszámfelfogó lap vagy egy köztes lap behajlását a szerszám belső nyomásának vagy a formadarab felületének függvényében mindig figyelembe kellene venni. Erre vonatkozó adatokat szimulációs kísérletekből lehet kapni. Sajnos ilyenekre ritkán kerül sor, ezért a gyártás során a szerszám gyakran a megengedettnél erősebben meghajlik, emiatt a darab sorjás lesz, a szerszám élettartama pedig megrövidül. Ennek a hibának az elkerülésére speciális kamrás-kidobólapos merevítőrendszert dolgoztak ki.

### *Az első felhasználók*

Az új szerszámépítési elv első pozitív eredményeiről a **Werkzeugbau Teegen** cég (Borken) számolt be, amely a járműgyártás számára készített alkatrészeket *IsoWe* típusú szerszámban. A szerszámgyártásban a **Nonnenmann GmbH** (Winterbach) működött közre. Az kiállításon bemutatott, hidegcsatornás *IsoWe1* szerszámmal ellentétben a Teegen cég számára elkészített *IsoWe2* szerszám hőszigetelt fűtött csatornákat tartalmaz, amelyeket a **Günther Heiskanaltechnik GmbH** (Frankenberg) gyártott le. A hőszigetelő lapok tökéletesen megvédik a szerszámot a fűtött csatornákból származó hő melegétől.

A hideg vagy a fűtött csatornás *IsoWe* szerszám iránt már tíz feldolgozó érdeklődik. Az *IsoWe2* típusú szerszámot hamarosan kiegészítik a **Stemke Kunststofftechnik GmbH** hűtőközegével.

Fejlesztési fázisban van az *IsoWe* szerszámokkal végzett fröccsöntés szimulációs programja. Ezzel nemcsak a jelenlegi két szerszám típus, hanem az ezután megépítendő

szerszámok optimalizálását is el lehet majd végezni, és alkalmas lesz a deformálódás, a falvastagság, a szerszám belső nyomását mérő eszközök optimális elhelyezésének ellenőrzésére, összességében a szerszám optimális temperálásának gyors meghatározására.

Összeállította: Pál Károlyné

Gries, H.: Kostenfaktor Korrosion = Kunststoffe, 100. k. 4. sz. 2010. p. 50–53.

Effizient temperieren und sparsam kühlen = Kunststoffe, 100. k. 1. sz. 2010. p. 32–33.

Hein, R.: Energieeffizientes Werkzeugkonzept = Kunststoffe, 100. k. 2. sz. 2010. p. 28–32.