

Fröccsöntés varioterm szerszámtemperálással

Varioterm szerszámtemperálással a fröccsöntési ciklus alatt a szerszám mindig optimális hőmérsékletű. Befröccsentéskor a szokásosnál magasabb hőmérsékletű a szerszám fala, ettől szebb lesz a darab felülete. A gépgyártók ehhez a technológiához szerszámokat fejlesztenek, a feldolgozók a technológiát tanulmányozzák.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; varioterm fröccsöntés; szerszámgyártás; induktív fűtés; felületi simaság; szerszámtemperálás; feldolgozási próbák.

A varioterm fröccsöntés lényege, hogy a fröccsöntési ciklus alatt a szerszámhőmérsékletet előre meghatározott program szerint temperálják. A szerszám falának hőmérséklete a befröccsentés pillanatában a legmagasabb. *Ezzel az eljárással szebb felületű formadarabokat lehet fröccsönteni, és az egész ciklus stabilabbá, gazdaságosabbá válik.* A szerszámban ugyanis egyenletesebbé válik a nyomás (a beömléstől legtávolabbi ponton is), ezért kisebb fröccsnyomást és szerszámzáró erőt kell alkalmazni, kisebb belső feszültség marad a darabban, amelynek vetemedésétől is kevésbé kell tartani. A varioterm fűtés hőforrása lehet forró gőz, forró gáz, elektromágneses indukció, infravörös vagy lézersugárzás, fűtőpatron, a szerszámfészek és egy kívülről fűtött blokk közé helyezett hővezető híd. *A varioterm szerszámtemperálás példaként az induktív fűtéssel rásegített szerszámok lehetséges változatait mutatjuk be.*

A technológiával több helyen foglalkoznak. Egy osztrák és német kutatókból álló csoport azt vizsgálta, hogy milyen anyagok fröccsöntésekor érdemes ezt a technológiát alkalmazni és milyen paraméterek mellett lehet a kitűzött célt, a szebb felületet elérni.

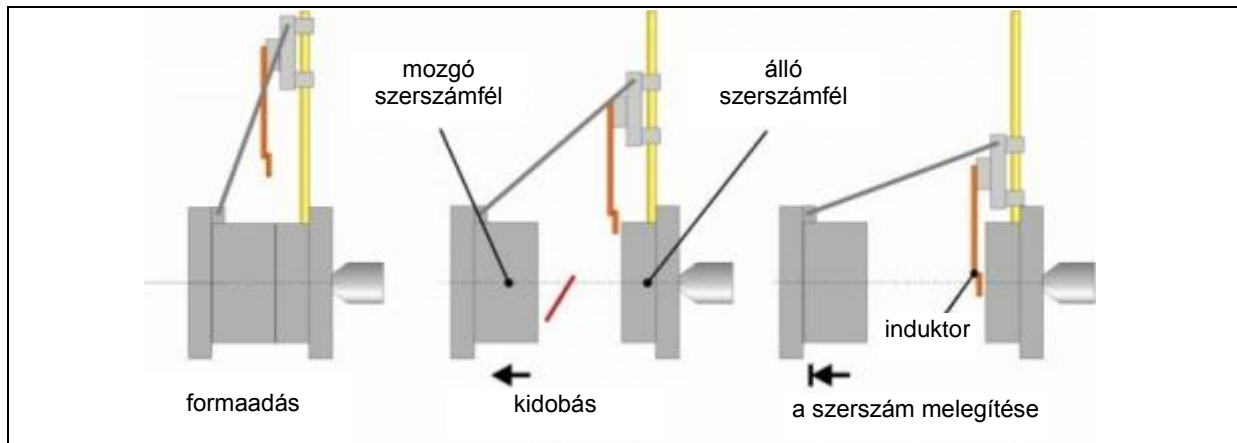
Fröccsöntés induktív-varioterm folyamatvezérléssel

A Stuttgarti Egyetem finommechanikai intézetében [Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart] az 1990-es évek közepe óta foglalkoznak a fröccsöntő szerszámok varioterm temperálását lehetővé tevő induktív fűtés kutatásával. Az ilyen fűtéssel ellátott szerszámok három csoportba sorolhatók aszerint, hogy az induktor a szerszámon kívül található (külső induktív fűtés), ill. részlegesen vagy teljesen integrálták a szerszámba.

Külső induktív fűtés

Ha külső induktív fűtést alkalmaznak, a fészek geometriájának megfelelő méretű és formájú (általában spirál alakú) induktort egy alkalmas kezelőrendszer viszi be a

nyitott szerszámba úgy, hogy a fűtőtest meghatározott távolságban helyezkedjék el a fészektől. Legtöbbször olyan kényszermozgató rendszert alkalmaznak, amely mindkét szerszámféllel kapcsolatban van, és amely szerszámzárás közben kihúzza az induktort a két szerszámfél közötti térből (1. ábra).



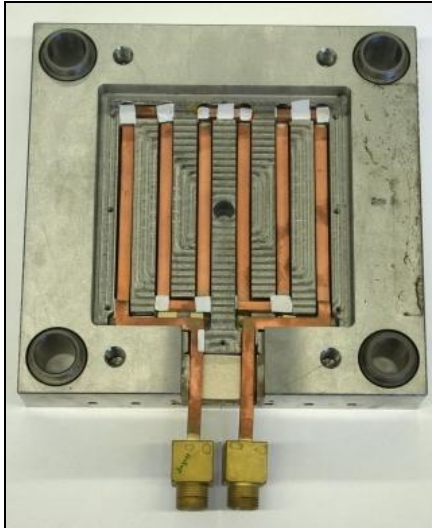
1. ábra Külső induktor szerszámmal összekapcsolt kényszermozgása a fröccsöntés ciklusában

Az induktív hő közvetlenül a fészek felületét melegíti fel. A felmelegítendő térfogattól és a generátor teljesítményétől függően a felmelegedés sebessége akár $60\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ is lehet. Mivel ezzel az eljárással csak a fészek egyik felét lehet felmelegíteni, ezt a befröccsentés optimális hőmérséklete fölé melegítik úgy, hogy a szerszámzárás folyamata alatt a hűtővíz a túlfűtést éppen kompenzálni tudja. *A külső induktív fűtés jól bevált eljárás*, amelyet évek óta alkalmaznak.

Ennek az eljárásnak az előnye, hogy nagyobb átalakítás nélkül meglévő szerszámokhoz is gyorsan és rugalmasan alkalmazható. A nyitott szerszám fűtése miatt meghosszabbodhat a ciklusidő. Számos kísérlet igazolta azonban, hogy az induktív varioterm fűtés révén a fluidtemperáláshoz képest erőteljesen csökken a felfűtés időtartama, és a ciklusidő inkább csökken, mint növekszik. A külső induktív fűtés azonban csak lapos, sík formadarabok gyártásakor hasznos, erősen tagolt szerszámok fűtéséhez nem ajánlható.

Integrált induktív fűtés

Az IKFF jelenlegi kutatásai az integrált induktív fűtés fejlesztésére irányulnak. Itt az induktort a szerszámlapban közvetlenül a fészek mögé építik be (2. ábra). Ez a konstrukció a külső indukciós fűtéstől eltérően sokkal bonyolultabb, mert az induktoron kívül meg kell oldani a hűtővíz és a villamos áram vezetését, továbbá figyelembe kell venni a kidobó elhelyezkedését. A felfűtés sebessége is kisebb, mert azt a szerszám anyagának hővezető képessége határozza meg.



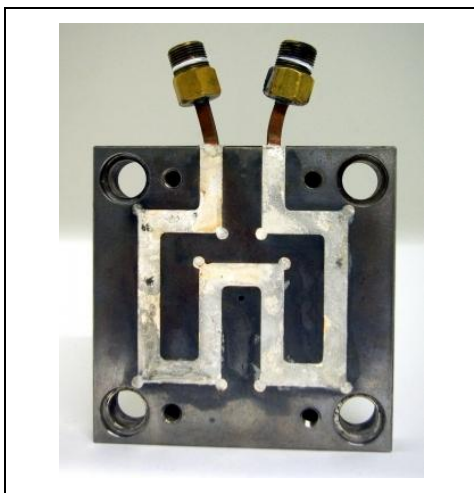
2. ábra Szerszámlap integrált induktív varioterm fűtéssel

Az integrált induktív fűtésnek a külső induktív fűtéssel összehasonlítva vannak előnyei is. A hővezetés következtében a bonyolult formájú fészek is egyenletesen melegszenek fel, és mindkét szerszámfél melegíthető a befroccsentés alatt, egészen az utánnymásig. A fészek közeli hőelemekkel pedig optimális hőmérsékletprogramot lehet beállítani.

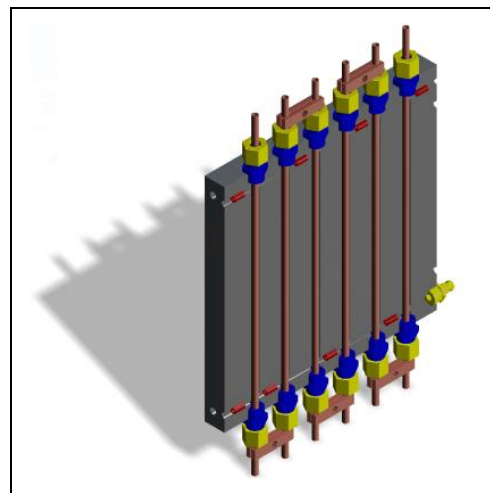
Az integrált induktív fűtéssel a nagyon rövid idő alatt felfűtött szerszámfészket gyorsan le kell hűteni, hogy a ciklusidő ne hosszabbodjék meg. Erre háromféle lehetőség kínálkozik:

- kontúrközeli fluidhűtés, amelynek vezetékrendszeréből közvetlenül az induktív fűtés megkezdése előtt kifűjják a hűtőfolyadékot, hogy az a felfűtés alatt ne képezzen gőzt,
- az induktor belső hűtésével végzett hűtés,
- külső hűtésű rúd alakú induktor, amelyet a hűtőcsatornába építenek be. Ez a megoldás az első két eljárás kombinációja.

*Klasszikus kontúrközeli fluidhűtés*kor az induktor mellett külön vezetékrendszert építenek a szerszámba, amely követi a fészek körvonalait. A fűtés alatti kiürítésére különböző gépgyártók megfelelő eszközöket kínálnak. Az ilyen rendszerek előnye a gyors hűtés, amelynek sebessége elérheti a néhány °C/s értéket. A hűtés sebessége tovább fokozható, ha folyadék helyett szén-dioxidot alkalmaznak. Hátránya ennek az eljárásnak, hogy a fűtést és a hűtést a szerszámlapban el kell különíteni, ami megnöveli a helyigényt a szerszámtömbben.



3. ábra Kerámiával kiöntött belső hűtésű induktor



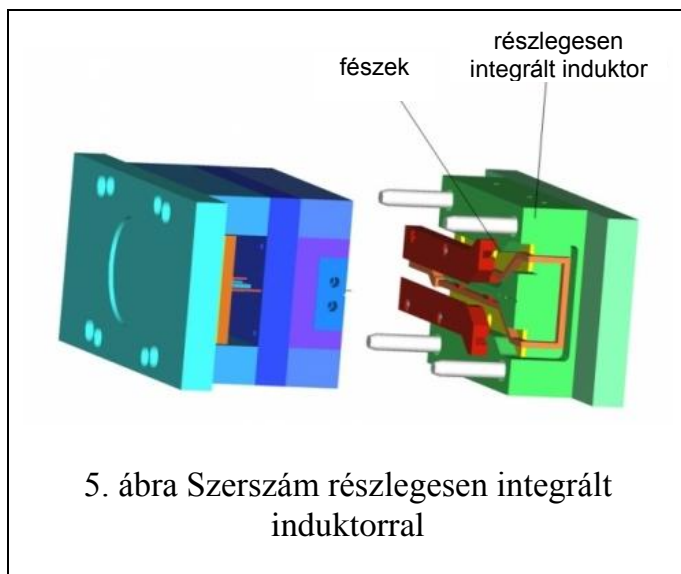
4. ábra A hűtőcsatornába integrált rúd alakú induktor

Az IKFF egy új eljárást fejlesztett ki, amelyben a kontúrközeli fluidhűtést az induktor belsejében helyezik el kiegészítő hűtőelemként. Az alapötlet, hogy az induktor folyamatos belső hűtését (amelyről a generátor gondoskodik) felhasználják a szerszám hűtésére. Az induktor és a szerszám közötti légrést, amelyet villamosan és termikusan szét kell választani, jó hővezető keramikussal öntik ki (3. ábra). Ez az anyag lehetővé teszi, hogy a szerszámmal közölt hőt az induktor belső hűtése ismét elvezesse. Ilyen módon megtakarítható a kontúrközeli hűtővezeték kifújása. Az induktor átveszi a teljes temperálórendszer szerepét.

A külső hűtésű rúdinduktor (4. ábra) egyesíti a kontúrközeli folyadékűtés és az induktorhűtés előnyeit: gyors a fűtés és a hűtés is, emellett a szerkezet kevés helyet foglal el. Itt a generátorból hűtővízzel ellátott induktort a hűtőcsatornába helyezik. Az eljárás jelenleg kutatási fázisban van.

Részlegesen integrált induktív fűtés

Ilyen fűtésnél az induktor része ugyan a szerszámnak, de nincs beépítve a szerszámlapba, hanem körülveszi a szerszámot vagy a fészket (5. ábra). Ennek a rendszernek hátránya, hogy nagy térfogatot kell felmelegíteni, ami növeli a fűtés és a hűtés időtartamát.



Az eddigi eredmények és a további kutatások

Az induktív fűtés olyan formadarabok vagy kompaundok fröccsöntésekor hasznos, amelyek a szokásos eljárással nehezen dolgozhatók fel, pl. amelyek folyási útjának és falvastagságának aránya nagyon nagy, vagy amelyek felületét nagyon finom mintázattal kell ellátni. Ilyen fűtéssel elkerülhetők a felületet rontó összecsapási vonalak is.

Az IKFF további kutatásaival javítani akarja az integrált induktív fűtést alkalmazó fröccsöntés folyamatát, a hűtés optimalizálásával rövidíteni szeretné a ciklusidőket, a szerszámok kétoldali induktív fűtésével optimálná azok karakterisztikáját, vizsgálná a többfészkes szerszámok külső induktív fűtésének lehetőségeit.

A varioterm fűtés fejlesztésével más kutatóhelyeken is foglalkoznak. A düsseldorfi K'2013 műanyag-kiállításon az Erlangen-Nürnbergi Egyetem doktoranduszának „Mikroméretű formadarabok fröccsöntése varioterm technikával temperált és gyors szerszámgyártó eljárással készült fröccsöntő szerszámokban” című diplomamunkáját WAK-díjjal jutalmazták. A WAK-díj a műanyagtechnikával foglalkozó egyetemi pro-

fesszorok tudományos munkabizottsága (WAK-Preis, Wissenschaftliche Arbeitskreis der Universitäts-Professoren der Kunststofftechnik,) által alapított díj.

A tajvani Moldex3D cég a fröccsöntő ipar számára kínál szimulációs programokat. Kínálatában van varioterm fröccsöntő folyamatot elemző CAE program is.

Varioterm technikával fröccsöntött formadarabok felületének vizsgálata

Ha a fröccsöntő szerszámban a befröccsentéskor magasabb a fészek falának hőmérséklete, fényesebb lesz a formadarab felülete és tökéletesebben képeződik le a szerszám felületének mikro- vagy nanoszerkezete. Hagyományos technika alkalmazásakor a magasabb fészekhőmérséklet miatt megnövekszik a hűtés időtartama, ami növeli a ciklusidőt és az energiaráfordítást, azaz a gyártási költségeket. A varioterm technikával ezt el lehet kerülni.

Az ausztriai Montanuniversität és a Polymer Competence Center (Leoben), az Engel Austria AG (Schwertberg) és a B. Braun AG (Melsungen, Németország) közösen tanulmányozta különböző műanyagok és kompaundok feldolgozhatóságát varioterm technológiával, és vizsgálati eljárást fejlesztett ki a kész formadarabok felületi minőségének vizsgálatára. Ezen belül összehasonlították az összezapási vonalak emberi szemmel érzékelhető határértékét a műszeres vizsgálatok eredményeivel.

A szerszámfészekbe belövellt forró ömledék nagyon gyakran több ágra oszlik, az ágak a szerszám teljes kitöltése előtt újra egyesülnek, de ilyenkor hőmérsékletük már alacsonyabb, ezért különösen kisebb nyomás mellett a két ág határfelületén hegedési varrat alakul ki, amelynek felületén finom horony képződik. Ez különösen a magas fényű felületeken jól látszik, és erőteljesen rontja a felület minőségét. Az Engel cég a kutatócsoport segítségével olyan vizsgálati módszert akart kifejleszteni, amellyel jellemezhető az összezapási vonal, és arra a kérdésre akart választ találni, hogy milyen folyamatszabályozással küszöbölhető ki ez a hiba.

A felület fényessége erősen függ a felület mikro- vagy nanomintázatától, azaz annak érdességétől. Ezért fontos, hogy a darab tökéletesen képezze le a fészek falának mintázatát. A leképezés hűségének vizsgálatához többféle polimert alkalmaztak (1. táblázat).

1. táblázat

A szerszámfelület mikroszerkezetének leképezéséhez alkalmazott polimerek

Polimer	Szín	Töltőanyag	Módosító adalék
PC/ABS, Bayblend T80XG	fekete	nincs	nincs
PC/ASA, Bayblend W85XF	fekete	nincs	nincs
PP, Daplen EE188HP	fekete	15% talkum	elasztomer
PP, Daplen EE065Al	opak	nincs	elasztomer
PP, Borclear RJ370MO	átlátszó	nincs	gócképző, formaleválasztó
PP, Borclear RF366MO	átlátszó	nincs	gócképző, formaleválasztó

A próbatestkészítés

A feldolgozási kísérletekben külső infravörös sugárzással melegítették fel a szerszámfészket a PP-nél szokásos 40 °C mellett 90, ill. 120 °C-ra; a PC/ABS és PC/ASA-nál szokásos 90 °C mellett 170 °C-ra. A befröccsentés átlagos térfogati sebessége 43,3 cm³/s volt, de PC/ABS keverékkel 33,3 és 53,3 cm³/s sebességgel is végeztek próbákat.

A 80 x 80 mm méretű fröccsöntött próbatestek felső része sík lap volt, hátsó oldalukon azonban kis kör, ill. téglalap alakú bemélyedés és borda is látható volt, ami a lap vastagságát változóvá tette. A lapokat kétfézeskes szerszámban az Engel cég szabaldalmaztatott varioterm eljárásával fröccsöntötték, amellyel a befröccsentés és a fűtés egy ciklus alatt párhuzamosan végezhető. Amikor alsó állásban éppen ömledékkel töltik meg az első fészket, a felső állásban a második fészket hátulról melegítik. Miután az alsó szerszámban lehűlt az ömledék, és kinyit a szerszám, a második fészket alsó állásba fordul. A kész darabot az első szerszámból a felső állásban veszik ki.

A fészek felmelegítését hátoldalról a fészek kis tömege és infravörös sugárzást elnyelő bevonata könnyíti meg. A felfűtés sebessége 13 °C/s volt. Amint a felmelegített fészket alsó állásba fordul, érintkezésbe lép a 20 °C-os szerszámtömbbel. Ezáltal nagy hőmérséklet-gradiens alakul ki, és a kész darab sokkal szebb felülete mellett is rövidül a ciklusidő a hagyományos konstans szerszámhőmérséklettel végzett fröccsöntéshez képest.

Az összecsapási vonal és az érdesség mérése

A felületekről visszaverődő fényt az emberi szem színeként, a kontrasztot árnyékként érzékeli. A szem érzékenységtől függően a felületi hiba megtöri a visszavert fény egyenletességét. Egy új, szabadalmaztatott módszerrel meg tudják állapítani, hogy mennyire érzékeny az emberi szem a felület apró hibáira.

A méréshez a próbatesteket tartóban rögzítették és CCD (charge-coupled device, azaz fényt elektronikus jelekké alakító eszköz) kamerával fotometrikus képeket készítettek róluk. Matematikai modell segítségével és a kifejlesztett vizsgálóeszköz felhasználásával vizsgálták a képeket. A vizsgálóeszköz a relatív kontrasztot érzékeli, érzékenysége hasonló az emberi szeméhez.

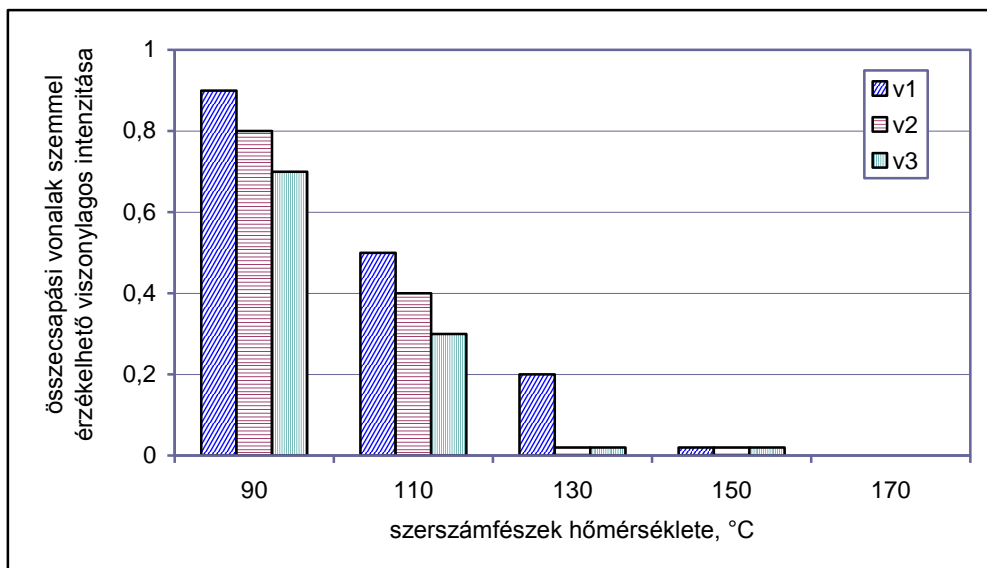
A felület érdességét érintésmentes optikai érzékelővel mérték. A beömlési ponttól 10 mm-re, a folyási irányra merőlegesen 40 mm-es hosszban mm-enként 0,56 mm-es szakaszokon (L) tapogatták le az érdesség profilját. Meghatározták az ún. simasági mérőszámot (R_q), amely az egyenetlenségprofil középvezonától mért eltérések ($[z(x)]$) négyzetes átlaga, és a következő egyenlettel számítják ki:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} * \int_0^L z^2(x) dx} .$$

A próbatesteken mért értékeket a 2. táblázat tartalmazza.

A különböző szerszámhőmérsékletekkel készített próbatesteken mért simasági mérőszámok (R_q értékek μm -ben)

Polimer	40 °C	120 °C	Megjegyzés
PC/ABS, Bayblend T80XG	0,200	0,050	R_q 90 és 120 °C-on azonos
PC/ASA, Bayblend W85XF	0,300	0,055	R_q 90 és 120 °C-on azonos
PP, Daplen EE188HP	0,030-0,035	0,030-0,035	a varioterm eljárás nem hat a simaságra
PP, Daplen EE065Al	0,040	0,070	esetleges felületközeli kristályosodás?
	90 °C	170 °C	
PP, Borclear RJ370MO	0,035	0,028	pozitív variotermikus hatás
PP, Borclear RF366MO	0,085	0,044	



6. ábra A PC/ABS próbatesteken szabad szemmel észlelt összecsapási vonalak viszonylagos intenzitása a fészekhőmérséklet és a befröccsentett ömledék térfogati sebességének (v) függvényében ($v_1 = 33,3 \text{ cm}^3/\text{s}$, $v_2 = 43,3 \text{ cm}^3/\text{s}$, $v_3 = 53,3 \text{ cm}^3/\text{s}$)

Az eredmények értékelése

Az összecsapási vonalak erősen csökkentek a melegebb szerszámokban, amit már szabad szemmel is észre lehetett venni. A PC/ABS próbatesteken szabad szemmel észlelt összecsapási vonalak intenzitásának viszonylagos értékeit a fészekhőmérséklet és a befröccsentett ömledék térfogati sebességének (v) függvényében a 6. ábra mutat-

ja. A 0,2-es érték azt jelenti, hogy a megfigyelők 90%-a már egyáltalán nem érzékelte a hibát. A 170 °C-on fröccsöntött próbatesteken egyetlen ember sem látott összecsapási vonalat. 33,3 cm³/s befröccsentési térfogati sebesség mellett 150 °C-ig, ennél nagyobb sebesség mellett 130 °C-ig lehetett jól érzékelhető összecsapási vonalat látni a lapokon. Amint az érdesség 0,2 µm-ről 0,05 µm-re csökkent, a próbatestek felületi fényessége erőteljesen megnőtt.

A mérési adatokból látható, hogy *a varioterm eljárás hatásfoka függ a feldolgozott anyagtól is*. Az elasztomerrel módosított *EE188HP* és *EE065AL* típusú PP felületi minősége jelentősen nőtt 90 °C-ig, a fészek hőmérsékletének további emelése nem hozott további javulást. A gócképzőt tartalmazó és átlátszó *RJ370MO* típusú PP 40 °C-on fröccsöntve kevésbé volt érdes (R_q mindössze 0,040 µm), 120 °C-os szerszámba fröccsöntve viszont 0,070-re nőtt az R_q érték. Ez a jelenség származhat mikroszkópikus méretű beszívódásokból, amelyet eltérő helyi zsugorodások vagy rétegelválások okoznak. A próbatestnek sima volt a felülete, de számos század nanométer méretű bemélyedő pontot lehetett kimutatni rajta. A varioterm fröccsöntés nem növelte az eredetileg is magas fényű típusként kifejlesztett *RF366MO* márkajelű PP felületi minőségét. A PC keverékek már szokásos fröccsöntési hőmérsékletükön is kis R_q értéket adtak, ez a hőmérséklet emelésével tovább csökkent.

Összefoglalva megállapítható, hogy ha sima felületű vagy finoman mintázott formadarabokat akarnak gyártani, a varioterm eljárás előnyös lehet a szerszámfelület pontosabb reprodukálására.

Összeállította: Pál Károlyné

Varioterm injection moulding – Defined tempering for the best results = Camo Formen- und Werkzeugbau GmbH Schwanenstadt, Austria, www.camo.at

Moldex3D – Molding innovation – Varioterm = www.moldex3D.com

Zimmermann, T.; Zülch, M.; Schinköthe, W.: Induktiv-variotherm Prozessführung im Kunststoffspritzguss = *Plastverarbeiter*, 61. k. 11. sz. 2010. p. 42–44.

Zimmermann, T.; Schinköthe, W.: Varioterm, aber trotzdem schnell – Kurze Zykluszeiten mit konturnaher Kühlung bei induktiv-variothermer Werkzeugtemperierung = *Plastverarbeiter online*, 2011. 07. 26. www.plastverarbeiter.de

WAK Preise 2013 = www.wak-kunststofftechnik.de

Friesenbichler, W.; Roock, S. stb.: More gloss, fewer weld lines with variotherm molding = *Plastics Technology*, 2013. március, www.ptonline.com

Egyéb irodalom

Radig G.: *Verzugsfreie Hochglanzoberflächen (Fényes felületű vetemedésmentes termékek) = Kunststoffe*, 101. k. 10. sz. 2011. p. 157–159.

Egy különleges lézeres eljárással (LaserCusing) finom fémport olvasztanak a szerszám felületére, amely lehetővé teszi a szerszámhűtés hatásfokának növelését a hagyományos fűrt hűtőcsatornákhöz képest.

www.quattroplast.hu