

A fröccsszerszámon belül szándékosan kialakított hőmérséklet-különbségek előnyei

Egyes műanyagok és termékek esetén a fröccsöntő szerszám alakformáló üregében a jobb termékminőség elérése és a ciklusidő csökkentése érdekében bizonyos helyeken az anyag befröccsöntésének idején magasabb felületi hőmérsékletet kell biztosítani. Ezt lehet indukciós vagy forró levegős fűtéssel megoldani.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; szerszámkialakítás; felületkezelés; Variotherm; indukciós fűtés; forrólevegős fűtés.

Az igényes hőre lágyuló műanyagok fröccsöntésénél az egyenletes hőmérsékletre temperált fröccsszerszám nem ad kielégítő eredményeket. Ilyen esetekben alkalmaznak a változó hőmérsékletet biztosító eljárásokat. A szokásos folyadékkeringetésű temperálás kiegészítéseként többféle módszert alkalmazhatnak a szerszám kritikus területeinek ciklusonkénti felmelegítésére.

Indukciós megoldások

A stuttgarti egyetem egyik intézetében (IKFF) az induktív *Variotherm* hőfokvezérlés kifejlesztése az 1990-es évek közepétől központi kutatási terület. Ennek lényege, hogy a szükséges szerszámrészeket célzottan és gyorsan, tehát energiahatékonyan felmelegítsék.

Az indukciós elven működő fűtőeszközöket szükség szerint lehet a szerszám belsőjében, közvetlenül a felmelegítendő felület alatt vagy külsejébe is elhelyezni. A külső elhelyezésnél szükség van egy szerkezetre, amely az induktort a szerszámba beviszi, majd a felmelegítés után kihúzza. E szerkezet pontosan a felmelegítendő felületre helyezi az induktort, de ez, természetesen, csak nyitott szerszámnál lehetséges. Így a meleg a szerszám zárásakor elkezdi szétterjedni és ahogyan a fészek a befröccsöntést követően azonnal hűlni kezd, és így a teljes folyamat nagyobb energiafelhasználással jár, mint az indukciós fűtés nélkül.

Ezzel szemben a belső, a szerszámfészek felületéhez nagyon közeli elhelyezésű induktorok függetlenül működnek a szerszám nyitási/zárási folyamatától, és így a szükséges időpontban felmelegítik a szükséges felületi részeket. Ilyenkor a szerszámfészek felülete közel van az induktorhoz, amelynek így a hőátadáshoz csak kis távol-

ságot kell legyőznie. Ezért ez a változat csökkenti a ciklusidőt és az energiafelhasználást a szükséges hőmérséklet eléréséhez.

A belső elhelyezésű induktorok esetében fontos, hogy meggátolják, vagy legalábbis minimalizálják azt, hogy az indukciós hő hővezetéssel azokra a részekre is átterjedjen, amelyeket nem kívánnak felmelegíteni. Ezt kétféle módon érhetik el. Az egyik megoldás egy keskeny légrés kialakítása az induktor körül a szerszámlemezben. Az induktor „bekerítése” meggátolja, hogy a hővezetéssel a nem kívánt irányokba is terjedjen a hő. Szimulációkkal sikerült kimutatni, hogy az induktor által fejlesztett hő ilyenkor csak a célterület felé áramlik. Így csak a szerszámfészek közvetlen közelében kezd el a hő egy vékony rétegben szétterjedni. A valódi szerszámokon végzett mérések szerint *e módszerrel több, mint 60%-kal rövidebb felfűtési időre van szükség, mint az azonos geometriájú, de légrés nélküli esetben.* A kisebb hőveszteség következtében a hűtési idő is több mint 60%-kal lerövidül.

A másik megoldás olyan fémréteg (pl. réz) kialakítása az induktor körül, kivéve a felmelegítendő terület irányában, amely nem produkál örvényáramot a váltakozó elektromágneses tér hatására. Ugyanis a légrés megakadályozza ugyan a hő hővezetés által történő terjedését, de az indukciós hatás a légrés mögötti acél szerszámlemezben is hőt generál. Ezért az induktor bevezetésre szolgáló furat átmérőjét meg kell növelni, hogy megnöveljék az induktor és az acél szerszámlemez közötti távolságot. Ez viszont legyengíti a szerszám szilárdságát a szerszámüreg közelében. Erre jelent megoldást a réz (vagy más, az induktor hatására nem felmelegedő fém) bevonat alkalmazása, amely kitölti a furat és az induktor közötti távolságot és megerősíti a szerszámot. Az induktor hatására létrejövő örvényáram a felületi effektusok hatására a réz felületén ellenállás nélkül, axiális irányban a melegítendő terület felé halad. A rézrétegnek elég vastagnak kell lennie, hogy a felületi effektus teljes mértékben érvényesülhessen, különben az örvényáram egy része átjut az acél szerszámlemezbe.

A fenti módszerek hatásosságát a kutatók szimulációs számításokkal és kísérletekkel is igazolták.

Forró levegős megoldás

A német Varioplast Konrad Däbritz GmbH vállalat gyakran szembesült azzal a problémával, hogy az általa fröccsöntött műanyag termékek felületén meglátszottak az összezsapási helyek, illetve folyásnyomok alakultak ki. Ez elfogadhatatlan akkor, ha a termék felületével szemben esztétikai elvárások vannak. Az ezek elkerülésére szolgáló, indukciós módszereket alkalmazó *Variotherm* eljárás költségvonzatai miatt nem mindig alkalmazható. Ezért a cég a Pforzheim Főiskolával együttműködve új, olcsóbb megoldást fejlesztett ki, amelyet a 2017-es Fakuma rendezvényen mutatott be.

Mivel a fröccstermékek egy jelentős részének felülete nem felel meg az esztétikai elvárásoknak, a sima felületet a *Variotherm* eljárással vagy utólagos felületkezelési módszerekkel, pl. bevonatokkal, nyomtatással vagy tömörítéssel kellett biztosítani, ami számottevően megnövelte a gyártás költségeit. E probléma gazdaságos megoldására a Varioplast szakemberei a *forró levegős fúvókák alkalmazását* választották. Ezzel

a módszerrel a kritikus helyeken felhevítik a fröccsszerszám alakadó részének belső felületén a kritikus részeket. Így sikerült eltüntetni például az összecsapási helyeknél a hegedési vonalak optikai hibáit. Gyakran szükséges a szerszámfészek belső felületének egészét felhevíteni, azonban nem mindig.

Az eljárás kifejlesztésénél a következő fő szempontokat vették figyelembe:

- ne kelljen módosítani a szerszámot,
- rövid felmelegítési idő a gazdaságos termelés biztosításáért,
- rugalmas használat egy robot segítségével,
- a szerszámkontúrokat képes legyen lekövetni,
- legyen energia- és költséghatékony.

A *Turbotherm* márkanéven kínált eljárásnál nincs szükség a már meglévő fröccsszerszámok módosítására. A módszer költség- és energiahatékony, mivel csak az alakadó szerszámüreg belső felületét melegíti fel annak érdekében, hogy a termék felületi hibáit kisimítsa. Az eljárás előnyei:

- nem kell módosítani a fröccsszerszámot, még a legkomplikáltabb működésű szerszámoknál is alkalmazható,
- utólagosan alkalmazható többfészekes szerszámoknál is,
- az eljárás stabil és reprodukálható,
- teljesen eltünteti az összecsapási helyek hegedési vonalait,
- hibátlan felületet biztosít az utólagos bevonatokhoz,
- strukturált szerszámfelületet esetén azt tökéletesen leképező felületet biztosít a termékeken még komplex geometriák esetében is,
- megnövelt a folyási úthossz vékony falú termékeknél,
- termékekre szabott fúvókák és harangok alakíthatók ki.

Egy 3,6 kW teljesítményű berendezés jellemző adatai (más teljesítményű egységek is kaphatók):

- átlagos energiafelhasználás: 1,4 kW,
- átlagos levegőigény: 50 l/min,
- elektromos csatlakozás: 400 V, 16 A,
- levegő csatlakozás: 0,5 MPa, 120 l/min,
- súly: kb. 3 kg (az adott geometriától függően),
- méretek: kb. 150x150x120 mm (H, SZ, M) az adott geometriától függően,
- melegítési zóna: kb. $\varnothing 70$ mm,
- felmelegítési sebesség 10 °C/sec-ig.

A műszaki megoldásnál a fúvókából a jobb hőátadás érdekében turbulens áramlással távozik a nagy teljesítményű fűtőelemek által felhevített levegő. A nagy áramlási sebességet a Venturi elv kihasználásával érik el és a felhevített levegő visszanyerését gyűjtőharangokkal érik el, ezáltal is javítva az eljárás hatékonyságát.

A főiskolán kiterjedt vizsgálatokat végeztek a lamináris és turbulens levegőáramlás és a különböző fúvókaformák hatékonyságának összehasonlítására. Vizsgálták a fúvóka és a szerszámfelület távolságának optimális értékét, és az olyan paraméterek hatását, mint a hőmérséklet, a levegőnyomás és a felmelegítési idő. A Varioplast

fröccsgépeit használták, hogy iterációval határozhassák meg az optimális beállításokat. A *Turbotherm* felhevítő modulok a következő egységekből állnak:

- egy fűtőfej speciális fűvókával és levegőellátással,
- egy levegő visszanyerő harang,
- egy kapcsolószekrény beépített vezérlőegységgel,
- megfelelő összeköttetések és rögzítő lemezek.

A hőközlő közeg az üzem sűrített levegő rendszeréből származó levegő. A berendezés képes a táplevegő és az elektromos áram kiesését a vezérlés által kezelni. A fűtőfej olyan kompakt kialakítású, hogy a kinyitott szerszámba problémamentesen bevezethető. Ehhez természetesen egy mozgató szerkezetre van szükség.

Az egyoldalas (pl. a fűvóka felé eső szerszámfél) felhevítésnél a fűtőfejet egy robotkar a kinyitott szerszámfelek közé juttatja be, a darab kidobásával vagy egy inzer behelyezésével párhuzamosan. Lehetséges a fűvóka- és a kidobó oldal egyidejű felhevítése is, ilyenkor egy két fűtőfejes egységet egy mechanikus pozicionáló szerkezettel együtt alkalmaznak.

A termelés gazdaságossága érdekében fontos tényező a nagy felhevítési sebesség. A kísérletek szerint 600 °C hőmérsékletű levegővel nagyon jó eredményeket lehet elérni, ha ez nagymértékű turbulenciával párosul. Elméletileg a levegő hőmérséklete még tovább is emelhető a gyorsabb felmelegítés érdekében.

A *Turbotherm* berendezések különböző teljesítményszinteken készülnek: 120 W és 32 kW között. A standard kialakításnál 3,6 kW teljesítményt alkalmaznak, ami a legtöbb esetben ideális megoldás az összecsapási helyeken megjelenő hegedési vonalak eltüntetéséhez. E teljesítményt a fröccsikluson belül a rendszer csak rövid ideig igényli, a 3,6 kW-os berendezés átlag teljesítménye 1,4 kW. Az energiaigény további csökkenéséhez vezet, hogy a felhevített levegőt a szerszámfelület felmelegítése után – a harang segítségével – részben visszavezetik rendszerbe, így a fűtőegységbe 150 °C-os levegő lép be. Így, egy idő után, a fűtőegységnek nem szobahőmérsékletre kell elérnie a 160 °C-os értéket. Emellett egy, a várakozási időtartam alatt alkalmazott, speciális hőszigetelő lemez tovább javítja az energiamegtakarítás mértékét.

A kísérletek során különböző bonyolultságú szerszámokat és különböző anyagokat (PC, PC/ABS, PMMA, PP, stb.) használtak. Az eljárás konzisztenciáját sorozatgyártással ellenőrizték. Érdekes volt, hogy 8 órás működés után az energiafelvétel kb. 12 kWh-val csökkent a kezdeti értékekhez képest. Összehasonlításként a *Variotherm* eljárás alkalmazásánál 20–30-szor nagyobb energiafelhasználás jelentkezik.

A *Turbotherm* berendezés alkalmazásával legyártott termékek minőségét egy független, külső intézet ellenőrizte. A mérések során vizsgálták az alkalmazott anyagok fajtájának, a hevítés idejének, illetve a gyártás időtartamának hatását. Határozottan kimutatható volt, hogy az összecsapási helyek hegedési varratának mélysége és szélessége a felhevítési idő növelésével csökkent. A felület kifejezetten homogén lett, a folyásnyomok és más tökéletlenségek eltűntek.

A Varioplast cégnél a házon belül alkalmazott eljárás javította versenyképességüket az olyan alkatrészek gyártásánál amelyeket lakkozni kellett vagy PVD bevonattal

ellátni. A *Turbotherm* alkalmazásakor módosítani lehetett az ömledék-hőmérséklet, a fröccsnyomás és az utónyomás értékeket.

Az olyan szerszámfészkek esetében, amelyek konkáv vagy konvex részeket tartalmaznak is használható a *Turbotherm* eljárás, de ilyenkor a fűvókák és az elszívó harangok kialakítását ennek megfelelően módosítani kell.

Összeállította: Dr. Füzes László

Maucher A., Schinköthe W.: Weniger ist mehr = Kunststoffe, 2. sz. 2018. p. 49–53.

Neugebauer E., Däbritz M.: Variothermie aus dem Druckluftnetz = Kunststoffe, 2. sz. 2018. p. 45–48.