

Két új eljárás fröccstermékek minőségének on-line ellenőrzésére

A fröccsöntő üzemek arra törekszenek, hogy minden egyes formadarab minőségét automatikusan ellenőrizzék a gyártási folyamat alatt. Ezáltal egyrészt a hibás darabokat már a gyártósoron ki tudják selejtezni, másrészt a legrövidebb idő alatt be tudnak avatkozni a gyártási folyamatba. A meglévő ellenőrző eljárások mellett a közelmúltban kifejlesztettek egy ultrahangos és egy termográfias vizsgálati módszert is.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; 2K-fröccsöntés; kristályos polimerek; hőre lágyuló elasztomerek; folyamat-ellenőrzés; ultrahang; termográfia.

Új eljárás az ultrahangos ellenőrzésre a szerszámon belül

A fröccsöntés szerszámon belüli ellenőrzésére és szabályozására a nyomásmérésen kívül eddig is használtak ultrahangos eljárásokat. Az ultrahangos technika ugyanis kevésbé érzékeny a fröccsöntés körülményeire (magas hőmérséklet, nagy nyomás), és a mérőeszközök költségei sem túlságosan nagyok. Az ultrahangos eljárásokban a hangsebességet és a csillapítást mérik, amelyek közvetlenül összefüggnek a polimer viszkoelasztikus tulajdonságaival és a hang szóródásával. Ennek alkalmazása előtt azonban gyakran sok mintavétellel járó kísérletezéssel kell a módszert kalibrálni.

Újabban számítógépes szimulációval igyekeznek a beállítás időtartamát lerövidíteni. A szerszámtöltés, a hűtés, a zsugorodás, a vetemedés szimulálásával meghatározhatók a feldolgozás optimális paraméterei, és megtakarítható a szerszám javíthatása. A szimulációs programok egyre megbízhatóbbak, de hiteles eredményt csak exakt anyagtulajdonságok és a folyamattól függő pontos mérési adatok betáplálásával lehet kapni.

A részlegesen kristályos polimerekből fröccsöntött formadarabok tulajdonságaira jelentős hatással van az, hogy hogyan alakul viszkozitásuk a hőmérséklet függvényében, és hogy milyen gyorsan alakul ki bennük a kristályos fázis. Ettől függ a formadarab gyártásának ciklusideje is, amelynek csökkentése a gyártó fontos érdeke.

A darmstadti Német Műanyagkutató Intézetben (Deutsches Kunststoff-Institut, Darmstadt) ultrahangos mérési módszert fejlesztettek ki a *részlegesen kristályos polimerek fröccsöntés alatt bekövetkező kristályosodásának (kristályosodási kinetikájának) vizsgálatára*, hogy ezzel is pontosabb adatokat szolgáltatthassanak a szimulációs programok számára. Szisztematikus fröccsöntési kísérletekben ultrahangos eljárással mérték a szerszámon belül a formadarabok szélétől befelé növekedő kristályos réteg

vastagságának változását. Az ultrahangos mérések eredményeit 3D-s FEM-szimulációval (FEM = finite-elemente-Methode, végeselemes módszer) kapott eredményekkel hasonlították össze. A kifejlesztett ultrahangos módszer egyúttal a fröccsöntő üzemekben gyors és költségtakarékos folyamatellenőrző eljárásként is alkalmazható.

Az ultrahangos mérésben ún. impulzus-transzmissziós eljárást alkalmaztak, amikor a szerszám egyik oldalán egy ultrahangos jeladót, vele szemben, a szerszám túoldalán pedig egy ultrahangos jelfogót helyeznek el. A fröccsöntött próbatest mérete 300x30x6 mm volt, az ultrahangjel a próbatest szélességében (30 mm úthosszon) haladt át.

A fészek kitöltése után, a hűtés megindításakor a jeladóban indukált elektromos jelet a piezoelektromos átalakító mechanikai rezgéssé (ultrahanggá) formálja át, amely áthatol a szerszámfalán, a szerszámfészket megtöltő polimeren, a szemben lévő szerszámfalán, majd eléri a jelfogót, ahol a mechanikai rezgés ismét elektromos jellé alakul. Ennek a jelnek („főjel”) az áthatolási (futási) ideje t_G (teljes idő). Mivel a szerszám acélfalában, a próbatest megdermedő kristályos fázisában és a még ömledék-állapotú magjában eltérő a hangsebesség, a határfelületekről a jel egy része visszaverődik, amit a jelfogó időbeli görbéjén a főjelnél gyengébb csúcs jelez. A jelfogó a további egymást követő jelek alapján digitalizálja a visszhang változását (Echozug, echo train). A berendezés emellett rögzíti a szerszámfészkekben fennálló nyomást (a beömlőnyílás közelében és attól távoli ponton) és a szerszám hőmérsékletét.

Az első jelet sűrű egymásutánban hasonló jelek követik. A próbatest hülése miatt a külső rétegekben megindul a kristályosodás, a kristályos réteg egyre vastagabb lesz. A kristályos fázisban a hangsebesség nagyobb, a főjel áthatolási ideje (t_G) a kristályos réteg vastagságának függvényében egyre rövidebb lesz, a visszhanggal csökkentett jelé ($t_G + \Delta t$) viszont alig változik. Az időkülönbségből (Δt) kiszámítható a vastagság:

$$\chi_K = \frac{c_K \cdot \Delta t}{2}$$

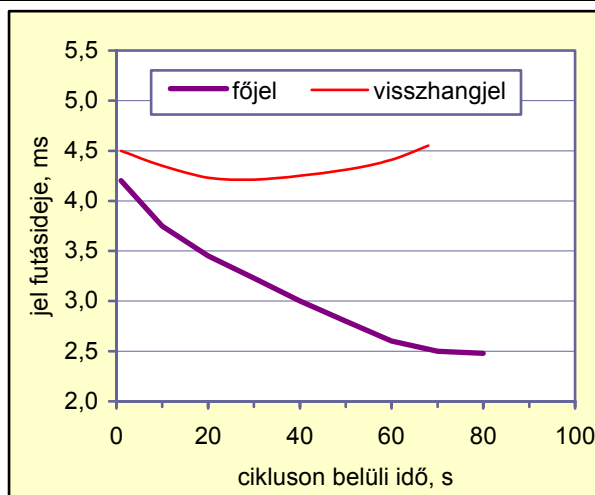
ahol χ_K a kristályos réteg vastagsága, c_K az átlagos hangsebesség a kristályos rétegben, Δt a visszhangjel és a főjel áthatolásának időkülönbsége. Az átlagos hangsebességet a kristályos rétegben a nyomás és a hőmérséklet függvényében a DKI laboratóriumában 20–250 °C között, ill. 500 bar nyomásig mérték ki.

A kísérletekben két töltőanyagmentes részlegesen kristályos polimert, a Sabic Europe cég 505 P típusú *polipropilénjét* (PP) és a BASF SE *Ultradur B 2550 típusú poli(etilén-tereftalát)-ját* (PBT), továbbá két 30%-kal erősített polimert, a Basell *Hostaform G3 N01 L típusú PP-jét* és a BASF *Ultradur B 4300 G6 márkanévű PBT-jét* használták fel.

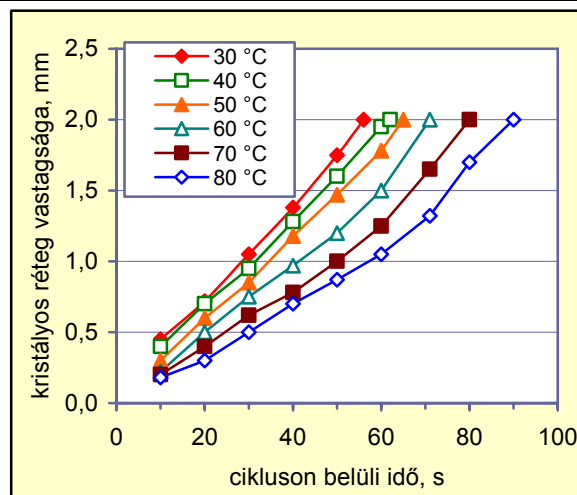
Az ultrahangjel áthatolási ideje (t_G és $t_G + \Delta t$) és a fröccscikluson belüli idő közötti összefüggést grafikusán ábrázolták; PP fröccsöntésekor az ömledék-hőmérséklet, T_S , 230 °C, a szerszámfal hőmérséklete 50 °C, az utánnomás 300 bar volt. A főjel és

a kristályos szélső rétegről részben visszaverődő jel áthatolási ideje közötti különbség, Δt , a fröccsiklus előrehaladtával egyre nő (1/A ábra).

A fröccsöntés paramétereit és a kristályos fázis kialakulása közötti összefüggés vizsgálatára kísérleteket végeztek változó ömledék-hőmérséklettel, szerszámfal-hőmérséklettel, fröccsebességgel és utányomással. Az 1/B ábrán a szerszámfal hőmérsékletének a hatása látható. A PP kristályos fázisa vastagságának növekedési sebessége a szerszám hőmérsékletének növekedésével csökken. A befroccséntés sebessége a kristályos fázis vastagságának növekedési sebességét nem befolyásolta.



1/A ábra A PP 505 P próbatest fröccsöntésekor a hűtési szakaszban mért ultrahangjelek (főjel és visszhangjel) áthatolási idői (futásidői) a kristályosodás időtartamának függvényében



1/B ábra A kristályosodó szélső réteg vastagságának növekedése a hűlés alatt különböző szerszámhőmérséklet mellett. (PP 505 P, ömledék-hőmérséklet 230 °C, fröccsebesség 200 mm/s, utányomás 300 bar)

A PBT próbatestekben a kristályos réteg a PP-hez képest gyorsabban növekedett. Az alacsonyabb szerszámhőmérséklet itt is gyorsította a kristályosodást.

A FEM-szimulációs számításokban a hőátviteli együtthatót (HTC, heat transfer coefficient), a gócképződési együtthatót (K_g , Keimbildungsexponent) és az egyensúlyi ömledék-hőmérsékletet variálták. Valamennyi vizsgált anyag mérések alapján kapott és szimulációval kiszámított értékei között jó összhangot állapítottak meg. Az eljárást a DKI az érdeklődők rendelkezésére tudja bocsátani.

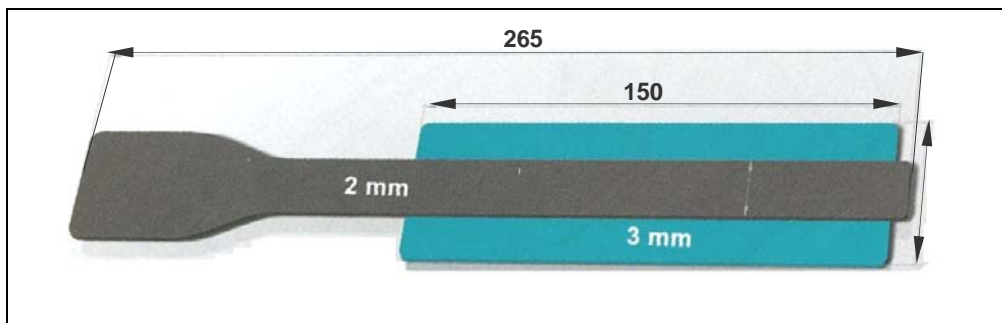
Termográfias minőség-ellenőrzés a 2K-fröccsöntésben

A műanyag-feldolgozó műhelyekben ma mindennapos gyakorlat, hogy egy kemény műanyagra másodikként hőre lágyuló elasztomert (TPE-t) fröccsöntenek. Ezzel a késztermék felületének tapintását akarják kellemesebbé vagy csúszásmentessé tenni, esetleg funkciós elemet, pl. tömítést alakítanak ki rajta. A TPE

feldolgozásakor néha előfordul, hogy túlszalad a megengedhető határon vagy éppen el sem jut odáig. Ezt okozhatja az elasztomer tapadása a szerszámfalhoz (erre hajlamos pl. a kemény és lágy poliészterblokkokból felépülő TPE-C vagy a hasonló poliuretánblokkokból álló TPE-U), a hibás adagolás, az anyagtorlódás, a hőmérséklet- vagy nyomásingadozás. Néha a kidobáskor sérül meg vagy válik le a lágy komponens. *Az automatikus gyártásban feltétlenül gondoskodni kell arról, hogy a hibás darabok ne keveredjenek a hibátlanokkal.*

Erre a célra számos helyen *optikai eszközt, kamerát* alkalmaznak, és képelemzéssel szűrik ki a hibás darabokat. A 100%-os biztonság megteremtése azonban nagyon költséges, és előfordul, hogy a rendszer (pl. rossz fényviszonyok mellett) hibátlan darabokat is selejtesnek érzékel. A termográfias ellenőrzőrendszer olcsóbb és megbízhatóbb lehet.

A lágy komponens jó tapadása és összeépülése a kemény komponenssel elsősorban a kontakthőmérséklettől, részben pedig a feldolgozási paraméterektől függ. Az SKZ-Das Kunststoffzentrum (Würzburg) ezeknek a tényezőknek a hatását próbálta tisztázni termográfias vizsgálatokkal.



2. ábra A lefejtési vizsgálatokhoz 2K eljárással fröccsöntött próbatest

A kemény-lágy komponens tapadását ellenőrző lefejtési próbákhoz többféle próbatestet és eljárást alkalmaznak. Az SKZ-nél a 2. ábrán látható próbatest fröccsöntésére alkalmas szerszámot készítettek, amelyben első lépésként a 2 mm vastag lapát alakú részt alakítják ki, második lépésként a 3 mm vastag téglalapot ugyanabban a szerszámfészekben, visszahúzó mag segítségével fröccsöntik rá. Több mint húszféle anyagkombinációt alkalmaztak és optimalták; a hőre lágyuló elasztomerek sztirolalapú TPE-S, vulkanizálható TPE-V, poliészteralapú TPE-E és poliuretánalapú TPE-U típusok voltak. A próbatesteken vizsgálták a tapadást a fröccssebesség, az utánnnyomás és a fröccsöntés utáni tárolás időtartamának függvényében. A próbatesteket a szerszámából robot emelte ki és pozicionálta a hőkamera alatt, hogy a kiemelés után azonnal elvégzett termográfias mérést mindig a ciklus pontosan azonos pillanatában végezzék el. Mivel a tapadást a fészekben a fröccsöntés alatt kialakuló hőmérsékleti viszonyok erősen befolyásolják, a szerszám kidobó- és fúvókaoldalán, továbbá a próbatest magjában

is mérték a hőmérsékletet, és a kemény, ill. lágy komponens befröccsenésekor a szerzámban fellépő nyomást.

A termográfias rendszer hőkamerája minden egyes próbatestről hőterképet vesz fel, a felvételen egyúttal rögzít a pontos időt. A hőeloszlást ezért pontosan hozzá lehet rendelni az egyes próbatestekhez. Az eljárás in-line alkalmazásához elengedhetetlen a pontos azonosítás és a megbízható elemzés. Ezt szavatolja a TDI (Temperature Difference Imager) szoftver. Az SKZ ezt a szoftvert eredetileg a szerszámhőmérséklet hőszabályozására fejlesztette ki, de folyamatelemzésre és -ellenőrzésre is alkalmazható. Az optikai rendszerek kontraszt- és kontúrelemzésével szemben a termográfias rendszerek a közvetlenül mért hőmérsékletértékeket hasonlítják össze a referenciaértékekkel. A hőterképen a referenciaértékhez viszonyított legkisebb eltérés is jól látható. A mérés érdekében egy pillanatra megállított próbatest egyáltalán nem vagy csak nagyon csekély értékben növeli meg a ciklusidőt.

A referenciafelvétel alapján kijelölhetők a mérési vagy ellenőrzési pontok. Ezek virtuális szenzoroknak tekinthetők, amelyek értékeit ciklusról ciklusra dokumentálják, de ugyanezeket a pontokat lehet felhasználni a beállított paraméterek és azok tűréshatárának kijelölésére is. Általuk megkülönböztethetővé válnak a „jó” és a „rossz” darabok. Ha a kész darab hőmérséklete a mérési ponton a tűréshatáron kívül van, nagy valószínűséggel rossz lesz a tapadás, a darab megy a selejtbe vagy megszólal a vészcsengő. A hőterkép élesen mutatja a túlszaladó vagy a megfelelő távolságig el nem jutó anyagot is.

A kísérletekben használt szerszám megrendelhető a Schweiger GmbH & Co. KG-nél (Uffing bei Staffelsee). Ha egy vállalat nem tudja vagy nem akarja vállalni a beruházást, az SKZ-nél is elvégeztetheti a 2K-fröccsöntéssel készített próbatestek fejlesztési vizsgálatát.

Összeállította: Pál Károlyné

Ohneiser, A.; Lellinger, D. stb.: Zeitaufgelöste Erfassung der kristallinen Randschicht = Kunststoffe, 101. k. 10. sz. 2011. p. 146–149.

Deubel, Ch.; Schwalme, G. stb.: Da fehlt TPE! = Kunststoffe, 102. k. 1. sz. 2012. p. 36–39.