

A tapadás előrejelzése a kétkomponensű (2K) fröccsöntésnél

A kétkomponensű fröccsöntés egyik kritikus pontja a különböző alapanyagok egymáshoz való tapadásának biztosítása. Német kutatók a feldolgozási szimuláció és a végelelem módszer „házasításával” elemezték a tapadást különböző anyagpároknál. Egy gyakorlati példa bemutatja, hogy több anyagból álló fröccstermék gyártásánál nem mindig a kétkomponensű fröccsöntés a leggazdaságosabb.

Tárgyszavak: 2K fröccsöntés; tapadás; szimuláció; kutatás; poliamid; TPU.

Szimulációs módszer a tapadás mértékének előrejelzésére

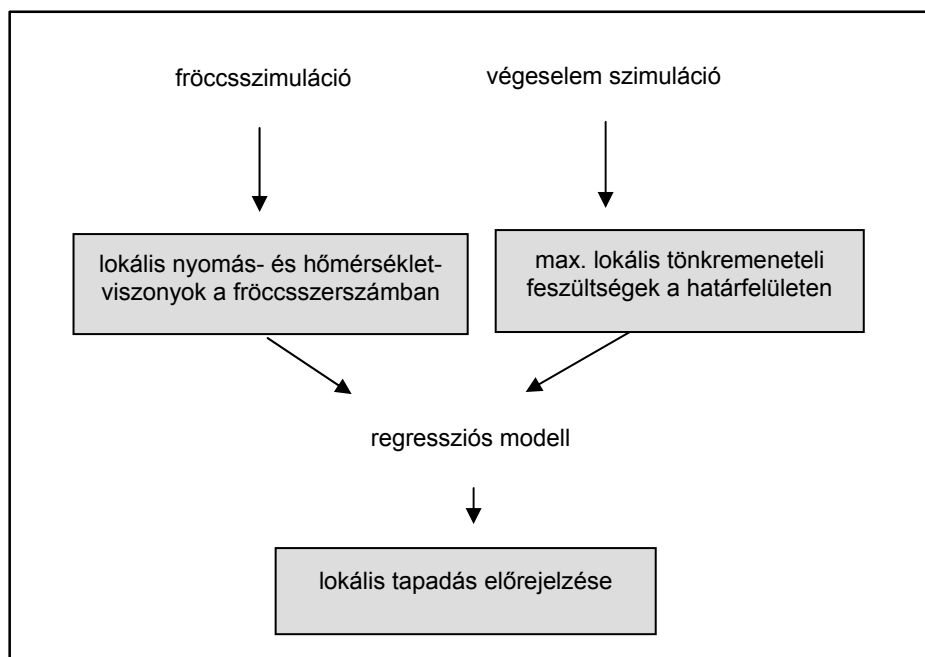
A 2K fröccsöntés, amelynek segítségével egymástól eltérő tulajdonságú műanyagok kombinálhatók egyetlen gyártási lépésben, az ipari gyártás számos területén elterjedt és bevált módszer. *Ezzel a módszerrel a munkaigényes szerelési lépés elkerülhető.* Tipikus alkalmazási példák az autókban alkalmazott többszínű hátsó lámpaburkolatok vagy a különböző tapintási/fogási tulajdonságú (és gyakran eltérő színű) polimereket kombináló megoldások: különféle fogantyúk, kezelőszervek az autókban, háztartási és barkácsgépeknél.

A többkomponensű fröccsöntésnél kulcsfontosságú a különböző komponensek tapadása, amelyet elméleti és kísérleti oldalról is sokan vizsgáltak. Jelenleg többnyire empirikus táblázatokkal dolgoznak, amelyek alkalmazásával kvalitatív előrejelzések tehetők arra nézve, hogy mely műanyagpárok esetében számíthatunk jó tapadásra. *A komponensek alapvető kompatibilitása mellett azonban a feldolgozási paraméterek és a darab geometriája is befolyásolja, hogy milyen lesz a termék szilárdsága az eltérő felületek mentén.* Különösen igaz ez a második komponens ráfröccsöntésénél, ahol csak bizonyos feltételek meglétekor jön létre jó tapadás. Elméleti és kísérleti vizsgálatokból kiderült, hogy az ömledék-hőmérséklet, a befröccsöntési sebesség és az utónyomás segítségével kvantitatív előrejelzést lehet tenni a határfelület szilárdságára nézve. Ezekből a vizsgálatokból számos olyan tényezőt azonosítani lehetett, amelyek rontják, vagy javítják a felületek tapadását. Az összefüggések azonban bonyolultak, a hatások gyakran átfedik egymást és ellentétesek, és függnek a geometriától is, ezért az egyszerűsített kísérletekből levont következtetések nem mindig vihetők át könnyen más esetekre. A feldolgozási körülmények optimalizálását ezért minden esetben egyedileg kell elvégezni, ami időigényes feladat. Amennyiben az egész jelenség előre je-

lehető lenne, nemcsak a feldolgozási paraméterek optimalizálását lehetne lerövidíteni, hanem előre meg lehetne tervezni az optimális határfelületi geometriát is.

A tapadás erősségének előrejelzése szimulációval

Az **Erlangeni Egyetem** és aacheni **Műanyag-technológiai Intézet (IKV)** együttműködésével olyan szimulációs programot fejlesztettek ki, amely képes e komplex jelenségek előrejelzésére. Az előrejelzéshez a lokális termodinamikai viszonyokat veszik figyelembe az előállítás során, és ebből számolják ki a helyi tapadási szilárdságot. A módszer alkalmazásánál feltételezik, hogy adott anyagpárnál csak a helyi hőmérsékleti és nyomásviszonyoktól függ az, hogy milyen jól épül össze a két műanyag. Tekintettel arra, hogy előre sem a helyi nyomás- és hőmérsékletviszonyok, sem a helyi szakadási nyúlások és szilárdságok nem ismertek, ezért mindkettőt a szimulációs programnak kell kiszámolnia (1. ábra). A lokális termodinamikai paraméterek egy fröccsszimulációs programmal határozhatók meg, a helyi feszültségeloszlás pedig egy strukturális végelem (FEM) modell segítségével. A két eredményt egy modell és egy regressziós számítás segítségével kell egymással „összefűzni”. Ezek birtokában már jó előrejelzést lehet adni a 2K fröccsöntött darabok várható tartósságáról.

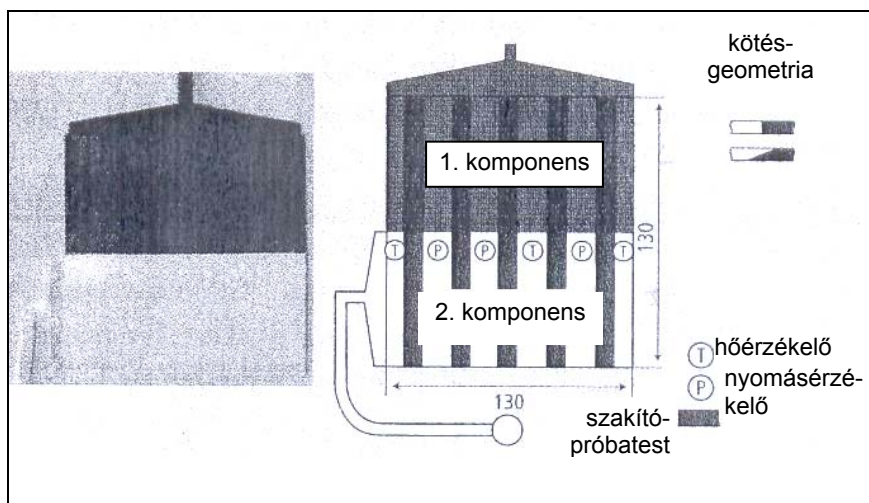


1. ábra A 2K fröccsöntés során kialakuló tapadás jóslására szolgáló program moduljai

A mért és számított termodinamikai paraméterek összehasonlítása

A program tesztjét kétféle anyagkombinációval végezték el. Az egyik esetben mindkét műanyagkomponens merev [az első komponens poliamid 6 (PA 6), a második

25% üvegszállal erősített poliamid 66 (PA 66-GF)], a második esetben pedig az egyik komponens merev [poliamid 6 (PA 6)], a második pedig lágy [poliuretán elasztomer (TPU)] volt. Ezekből az anyagkombinációkból különböző befroccsöntési sebességek, ömledékhőmérsékletek, utónyomások és utónyomási idők mellett kétkomponensű lemezeket állítottak elő, majd ezekből a beömléstől különböző távolságokra szakítópróbatesteket munkáltak ki (2. ábra). A gyorsan reagáló nyomás- és hőmérséklet-szenzorok segítségével időben és térben tudták követni a paraméterek változásait. Ugyanezeket a folyamatokat egy *Moldflow 4.0 program* segítségével szimulálták is. A merev/merev műanyag-kombináció esetében a számított és mért értékek elég jó egyezést mutattak, a PA 6/TPU kombináció esetében viszont komoly eltérések adódtak. Különösen a második komponens nyomásának időbeli lefutását nem sikerül pontosan megjósolni. Ezen eltérések ellenére jobb híján az előrejelzésekben a számított nyomás és hőmérsékleti értékeket használták.



2. ábra A 2K fröccsöntéssel készült próbatestek, a szakítópróbatestek és a szenzorok elhelyezkedése

A helyi feszültségértékek számítása FEM módszerrel

A húzóvizsgálatot végelem szimulációval írták le, és azt találták, hogy mind a feszültség-nyúlási görbék, mind a deformációs jellemzők elég jól leírhatók ezzel a modellel. Ebből arra következtek, hogy az egyébként nem mérhető helyi feszültségek és nyúlások leírása is jó minőségű volt. A számítások szerint a feszültségeloszlás a határfelületen meglehetősen inhomogén, különösen azért, mert a lágy komponens deformációját a merev komponens korlátozza. A tönkremenetelhez tartozó terhelés tekinthető a helyi tapadást jellemző számnak. Összességében el lehet mondani, hogy a számítások elég jól leírják a megfigyelhető jelenségeket, de a pontos megfeleltetéshez még egy regressziós számítás is el kell végezni.

A műanyagok egymáshoz tapadását végső soron az interdiffúzió okozza. Ha pedig ez így van, akkor az az időtartam a fontos, ameddig a két műanyag az üvegesedési hőmérséklete felett van és olyanok a nyomásviszonyok, hogy a két felület egymáshoz szorul. Ahhoz, hogy ezeket a számokat megkapják, a határfelület minden pontjára ki kell számolni a helyi hőmérséklet- és időadatokat az idő függvényében. Meghatározzák azt az időtartamot, amely az ömledékkal való érintkezés első pillanatától addig tart, amíg a hőmérséklet az átmeneti hőmérséklet (pl. olvadáspont vagy üvegesedési hőmérséklet) alá nem csökken. Második jellemzőként meghatározzák az ún. hőmérséklet-különbség – nyomás integrált, amely az aktuális hőmérséklet és az üvegesedési hőmérséklet közti különbséget súlyozza az aktuális nyomással. A fenti paramétereket különböző feldolgozási paraméterek mellett kiszámítva regressziós analízissel hozzáillesztették a húzóvizsgálatok során mérhető szakítószilárdság értékekhez. Az így kapott összefüggések birtokában aztán tetszőleges egyéb paraméterek mellett megjósolható a két felület közti tapadás mértéke.

A modell használhatóságának ellenőrzése

Már az illesztés során fény derült azonban bizonyos hiányosságokra. Előfordult, hogy szinte azonos szimulációs értékek mellett is jelentősen eltérő tapadási szilárdságokat mértek – tehát nem tekinthetünk úgy a modellre, mint egy mindenható segéd-eszközre. A modell további ellenőrzése céljából megismételték a mérést és a számításokat is egy olyan rendszeren, ahol az átlapolás nem merőleges, hanem rézsútos volt, mert ez lényegesen eltérő feszültségeloszlást eredményezett. A megváltozott körülményekre már az a tapasztalat is utalt, hogy a korábbi geometriára optimalizált fröccsparaméterek mellett az új geometriánál gyenge tapadási szilárdságokat kaptak. Ha újra optimalizálták a körülményeket és elvégezték a szimulációs számításokat, akkor viszont olyan számított paramétereket kaptak, amelyek kívül estek azon a tartományon, amelyre a módszert „kalibrálták”. Mindez arra figyelmeztet, hogy a jelenlegi feldolgozási szimulátorprogramok által szolgáltatott adatok még nem elegendőek a jelenség teljes körű előrejelzéséhez.

A részleges sikertelenség ellenére a módszer mindenképpen érdemesnek tűnik a továbbfejlesztésre. A feldolgozási szimuláció és a végelem módszer „házasítása” mindenképpen ígéretes, de még javítani kell a háromdimenziós feldolgozási szimuláción, és további erőfeszítéseket kell tenni annak megértése érdekében, hogy milyen tényezők befolyásolják az eddig figyelembe vettekén kívül a tapadási szilárdságot (pl. kristályosodási viszonyok, nyírési igénybevételek a határfelületen stb.).

Kétkomponensű biztonsági cipők készítése fröccsöntéssel

A biztonsági cipők 35%-ánál ma már a lábujjak védelmére a cipő orránál műanyagot használnak fém helyett. Ez ugyanis nemcsak kényelmesebb, hanem biztonságosabb is. Az **Uvex** és a **General Electric Plastics** által e célra kifejlesztett *Xenova* márkanévű műanyag villamos- és hőszigetelést is biztosít. Később jött az ötlet, hogy

ezt a védelmi célokat szolgáló merev műanyagot lágy poliuretán elasztomerrel (TPU) kombinálják. A fő problémát a gazdaságosság jelenti: a 2K fröccsöntés nagyobb szer-
szám- és technológiaköltségei csak úgy kompenzálhatók, ha a gyártás elég termel-
keny. Egy ilyen termék gyártói azzal keresték meg a fröccsgépgyártó **Arburg** céget,
hogy segítsen nekik a leg gazdaságosabb technológia kiválasztásában. A következő
gépi megoldásokat vetették össze:

- egy kétkomponensű fröccsöntő gépet,
- két fröccsöntő gépet, amelyeket egy robot kapcsolt össze,
- két fröccsöntő gépet, saját robotokkal, egymás után egy közös rendszerbe integrálva.

Annak ellenére, hogy az utolsó megoldás a legköltségesebb, mégis erre esett a
választás, méghozzá azért, mert ez kínálja a legnagyobb termelési rugalmasságot. Eb-
ben az esetben ugyanis mindkét berendezés önállóan működik, és pl. a karbantartás
során egymástól függetlenül is fel lehet használni őket. Az egykomponensű fröccsön-
téshez tartozó szerszámok is olcsóbbak, mint a 2K fröccsszerszámok, és gyorsabb a
szerszámcsere is, ha az egyik cipőméret gyártásáról átállnak a másikra.

A rendszer első gépe egy *Allrounder 420 C 1000-350* volt, amelynek záróereje
1000 kN, fröccstérfogata 350 cm³. A második berendezés egy *Allrounder 420 C 850-
150-es* gép volt, amelynek záróereje ugyancsak 1000 kN, fröccstérfogata 100 cm³. Egy
robot emeli ki a terméket az első, kétfészes szerszámból és ráhelyezi a szállítoszalag-
ra, közben pneumatikus vágással eltávolítja a beömlőcsontot is. A szállítóeszközt úgy
alkották meg, hogy egy széles cipőméret-tartományban ugyanazt a berendezést lehes-
sen használni, mégis biztonságosan rögzítse a köztterméket. A köztterméknek ele-
gendő időt kell biztosítani a hűléshez, mielőtt behelyezik a második szerszámba. A
hűlést légfúvással gyorsítják, mert ilyen vastag falú terméknel a spontán hűlés nem
elég gyors a gazdaságos termelés eléréséhez. Maximum 10 perc után az első fröccs-
öntvényre ráöntik a második, lágy komponenszt. A második fröccsgépbe egy vertikáli-
san felszerelt robot helyezi be a félkész terméket. A bonyolult kontúr a fröccsdarab
nagyon precíz elhelyezését kívánja meg. Ahhoz, hogy elkerüljék a hibás pozicionálást,
a félkész terméket a kidobó oldalról helyezik be, és a fröccsoldalról veszik ki. A cipő-
alkatrészeket mindig párosával állítják elő és csomagolják is. A hűlési idő alatti „utaz-
tatás” egyfajta biztonsági tartalékot is jelent, ami növeli a folyamat biztonságát. Azt is
meglehet oldani, hogy az első lépésben kialakított félkész terméket begyűjtik, majd
egy külön lépésben öntik rá a második komponenszt. Ez előnyt jelent pl. egy újabb ter-
mékre történő átálláskor. Az első terméket lehet gyártani, miközben a második gépen
szerszámot cserélnek. Az egész folyamatot képernyőn lehet követni és felhasználóba-
rát a vezérlő/beállító rendszer is.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Mannigel, M.; Dörfler, R. stb.: Neue Ansätze zur Vorhersage der Haftung beim 2K
Spritzgiessen. = GAK Gummi Fasern Kunststoff, 58. k. 10. sz. 2005. p. 645–648.

Zinckgraf, S.: Komfortabel geschützt. = Plastverarbeiter, 57. k. 9. sz. 2006. p. 60–62.