

Egymásra fröccsöntött merev-merev polimerek közt létrejövő tapadásszilárdság  
mérésére alkalmas vizsgálati módszer kifejlesztése

Romhány G., Kovács N. K., Suplicz A.

Accepted for publication in Polimerek

Published in 2018

DOI:

# EGYMÁSRA FRÖCCSÖNTÖTT MEREV-MEREV POLIMEREK KÖZT LÉTREJÖVŐ TAPADÁSSZILÁRDSÁG MÉRÉSÉRE ALKALMAS VIZSGÁLATI MÓDSZER KIFEJLESZTÉSE

ROMHÁNY GÁBOR<sup>1,\*</sup>  
KOVÁCS NORBERT KRISZTIÁN<sup>1</sup>  
SUPLICZ ANDRÁS<sup>1</sup>

Vizsgálati eljárást fejlesztettünk ki, amely alkalmas egymásra fröccsöntött merev-merev polimerek közt létrejövő mind normál, mind nyíró irányú tapadásszilárdság meghatározására. Az eljárás teszteléséhez szükséges próbatestek legyártásához PolyJet típusú additív gyártóberendezés segítségével szerszámot készítettünk. A vizsgálati eljárást különböző, a tapadásszilárdságot befolyásoló fröccsparaméterek mellett legyártott próbatesteken sikeresen teszteltük.

## 1. BEVEZETÉS

Számos műszaki alkalmazás esetén rendkívül fontos az egymással érintkező anyagok határfelületén létrejövő tapadás erőssége. Hagyományosan ebbe a körbe tartoznak a bevonatok, a ragasztók, valamint az erősített anyagok (kompozitok), amelyeknél a bevonat/hordozófelület, a ragasztó/ragasztott anyag, valamint az erősítőanyag/mátrix közti minél erősebb tapadás létrehozására törekednek. A fejlesztésekhez, a receptúrák és technológiai paraméterek tapadáserősségre való hatásának elemzéséhez szükség van olyan mérési módszerekre, amelyek kvalitatív vagy kvantitatív módon minősítik a létrejött tapadáserősséget. A fent említett alkalmazási területek esetén számos vizsgálati módszert fejlesztettek ki ehhez. Bevonatoknál a rács vágásos teszt (kvalitatív) [1] és a karcvizsgálat (kvantitatív) [2], merev-merev alkatrészek ragasztása esetén az egy-, illetve kétoldalon átlapolat ragasztott kötések nyíróvizsgálata [3], merev-lágy alkatrészek ragasztásánál a lefejtő vizsgálat (peel-teszt) [4], kompozitokban a szál/mátrix határfelületi tapadás vizsgálatára a Broutman teszt [5], a fragmentációs teszt [6] vagy a cseppelhúzó vizsgálat [7] terjedt el.

A nagysorozatú gyártás egyik költségcsökkentést eredményező lépése az integrált alkatrészek gyártását lehetővé tevő gyártástechnológiák kifejlesztése volt. Ezek közé tartozik a ráfröccsöntési technológia. Sok esetben elegendő, ha a ráfröccsöntött darab alakkal záró kötéssel csatlakozik a hordozó

### DEVELOPMENT OF A TEST PROCEDURE FOR THE INVESTIGATION OF ADHESION BETWEEN OVERMOLDED RIGID-RIGID POLYMERS

We have developed a new test procedure which is suitable for determining the adhesion between overmolded rigid-rigid polymers in the case of both normal and shear loading. We printed an injection mold insert with a PolyJet 3D printer to manufacture the specimens used in the testing of the procedure. The test method was successfully tested on various test specimens produced with different injection moulding parameters that affect adhesion.

alapdarabhoz, és a két komponens közti jó tapadás nem elsődleges szempontú. Ilyenek pl. a kéziszerszámok, használati eszközök fogantyúján levő, csúszásgátló termoplasztikus elasztomer bevonatok. Vannak azonban olyan alkalmazások, amikor az alkatrészt alkotó részkomponensek között a működés megköveteli a megfelelően erős kapcsolatot. Ilyenre példa a napjainkban az autóiiparban egyre elterjedtebbé váló, hőre lágyuló mátrixú, szálerősítéses kompozitból készült teherbíró alkatrészek, melyekre merevítés és/vagy bekötési pontok kialakítása céljából bordákat fröccsöntenek rá. Míg az előbbi, merev-lágy polimer párosításra szintén a ragasztástechnikához már kifejlesztett lefejtő vizsgálatot alkalmazzák, addig az utóbbi, hőre lágyuló polimerekből készült merev-merev anyagpárosítás esetére nincs szabványosított eljárás.

Célunk az volt, hogy olyan tapadásszilárdság vizsgálati eljárást dolgozzunk ki merev-merev polimer anyagpárosításra, amellyel az anyagminőség (pl. adalékok hatásának vizsgálata) mellett kimondottan a ráfröccsöntési technológia paramétereinek a tapadásszilárdságra gyakorolt hatását is vizsgálni lehessen.

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

\* romhany@pt.bme.hu

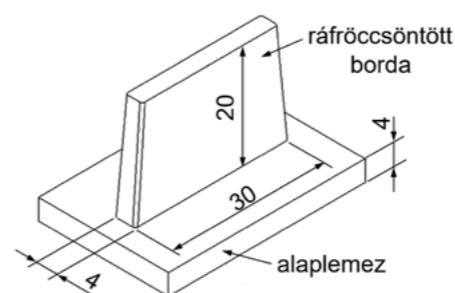
## 2. MÉRÉSI MÓDSZER

A kifejlesztendő tapadásszilárdság vizsgálati eljárással szemben az alábbi követelményeket állítottuk fel:

1. Merev-merev anyagpárok esetére legyen alkalmazható.
2. A próbatestet fröccsöntéssel lehessen előállítani.
3. A próbatest geometriája a modellezett alkalmazási körülményekhez (ráfröccsöntéssel gyártott merevítő bordák) hasonló legyen.
4. Mind nyíró, mind normál irányú tapadásszilárdság vizsgálatához is alkalmas legyen a próbatest, így egy fröccsöntésszámból elegendő mindkét fajta vizsgálathoz a próbatest legyártására.

Mivel ráfröccsöntéssel készült merevítő bordák esetén nagyon fontos az erős határfelületi tapadás létrehozása, elsősorban ennek tesztelésére alkalmas módszer kifejlesztése volt a cél. Ebben az esetben egyrészt merev-merev anyagpárosítás van (1. követelmény), másrészt a termék gyártástechnológiája fröccsöntés. Mivel a határfelületen létrejövő tapadás erősségét számos fröccsparaméter befolyásolja, ahhoz, hogy ezen paraméterek hatását vizsgálni lehessen, a próbatestet is fröccsöntéssel kell előállítani (2. követelmény). A valós termékeken a merevítő bordák vastagsága az alapdarab felé nő, aminek oka egyszerűen a termék könnyű eltávolíthatósága a fröccsöntésszámból. Mivel ráfröccsöntés esetén az ömledék nem az alapdarab felől (nagyobb bordavastagság) tölti ki a bordát kiképező szerszámüreget, hanem pont a kisebb bordavastagság irányából a nagyobb vastagság irányába, így ez a fröccsöntés technológiája szempontjából kedvezőtlen, hiszen az utónyomás szakaszában a kis termékvastagság irányából kell a zsugorodást kompenzáló ömledéket bejuttatni a gáttól távolabb levő nagyobb bordavastagságú részbe. A próbatest kialakításának és gyártószerszámának olyannak kell lennie, hogy ezt a sajátosságát is tükrözze (3. követelmény). A merevített szerkezet terhelésétől függően az alapdarab/borda közti határfelületen létrejöhet húzó, nyíró (vagy akár összetett) igénybevétel. Olyan próbatest kialakítása a cél, ami alkalmas mindkét igénybevételi módhoz kifejlesztett vizsgálati módszerhez (4. követelmény).

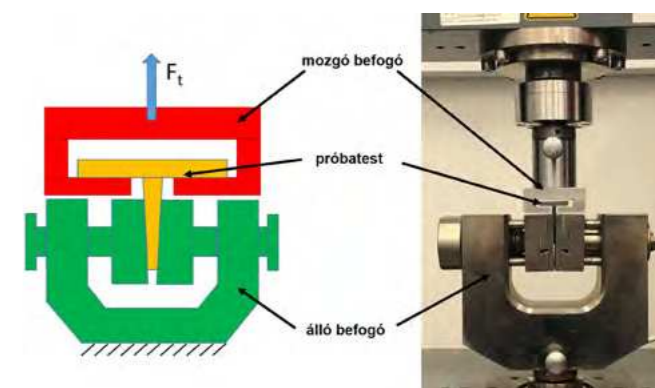
A követelményeket és a lehetséges próbatest megfogási/terhelési lehetőségeket figyelembe véve a 1. ábrán látható próbatest geometriát alakítottuk ki. A próbatest ráfröccsöntött borda részének az alapdarabnál levő vastagságát 4 mm-re terveztük, hasonlóan a szabványos multifunkciós próbatest 4 mm-es vastagságához. A borda alapdarabnál levő hosszát 30 mm-re, magasságát 20 mm-re vettük fel. A borda 1° oldalferdeséggel rendelkezik. Az alaplemez vastagságát szintén 4 mm-re vettük fel, a szélességét és hosszát csak a befogókészülékek mérete korlátozza.



1. ábra. Tapadásvizsgálathoz használt próbatest geometriája

### 2.1. Normál irányú tapadásvizsgálati módszer

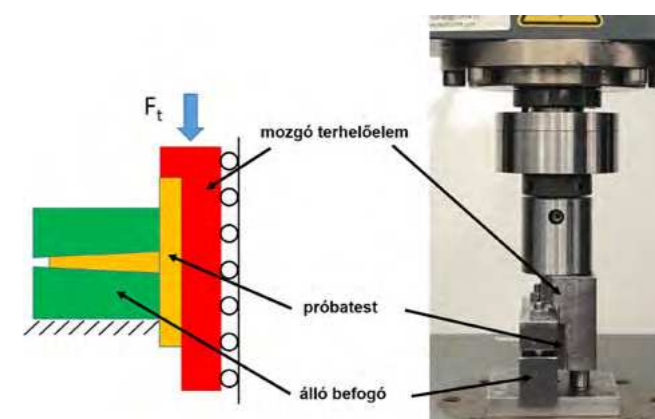
A normál irányú mérési elrendezés elvi és gyakorlati kivitelezését az 2. ábra mutatja. A próbatest alaplemez része a felső befogóban kialakított T-horonyba van behelyezve, ami a terhelés irányába akadályozza annak elmozdulását. A próbatestnek a T-horonyból kilógó bordarészét pedig a szabványos húzóvizsgálatokhoz használható befogóba fogjuk be, amiről a terhelés a befogó/borda közti súrlódó erőnek köszönhetően adódik át a próbatestre. Az alaplemez részt felfelé húzva a borda/alaplemez határán normál irányú feszültség ébred.



2. ábra. Normál irányú tapadásvizsgálat (a) elvi elrendezése (b) megvalósítása

### 2.2. Nyíró irányú tapadásvizsgálati módszer

A nyíró irányú mérési elrendezés elvi és gyakorlati kivitelezését az 3. ábra mutatja. A próbatest borda része van fixen befogva, míg a rá merőleges alaplemez éle mentén a borda/alaplemez határfelülettel párhuzamosan egy terhelőelem lefelé tolja, így létrehozva a nyíró igénybevételt a borda/alaplemez határfelületén. Az alaplemez toló készülékének kialakítása olyan, hogy megtámasztja az alaplemez, hogy az ne tudjon kihajolni, és ezáltal összetett (nyíró+hajlító) igénybevétel létrejönni.



3. ábra. Nyíró irányú tapadásvizsgálat (a) elvi elrendezése (b) megvalósítása

### 3. TAPADÁSVIZSGÁLATI MÓDOK TESZTELÉSE

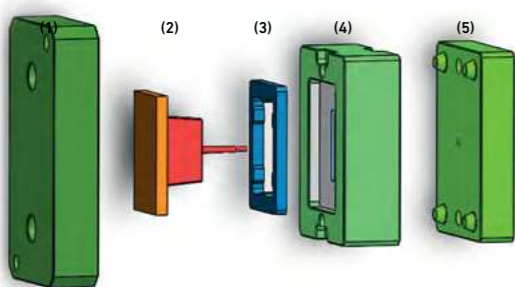
A merev-merev anyagpárok tapadásvizsgálatához megtervezett módszerek használhatóságát kísérleti úton teszteltük. A kísérletekhez a MOL Petrolkémia Zrt. TIPPLEN H 145 F típusú fröccsöntésre alkalmas polipropilén (PP) homopolimert használtuk.

APP-ből lapkaszerszámban 80x80x4 mm-es lemezeket fröccsöntöttünk az 1. táblázatban látható beállításokkal, majd ezekből vágtuk ki a próbatetek alapdarabját alkotó 25x38x4 mm-es darabokat.

1. táblázat: A próbatest alaplemez részét alkotó darabjának lefröccsöntéséhez használt fröccsparaméterek

Hőmérséklet zónák [°C]	210-205-200-195-190
Szerszámhőmérséklet [°C]	30
Adagolási térfogat [cm <sup>3</sup> ]	75
Fröccssebesség [cm <sup>3</sup> /s]	40
Átkapcsolási pont [cm <sup>3</sup> /s]	6,6
Utónyomás [bar]	450
Utónyomás ideje [s]	8
Maradék hűtési idő [s]	20

Az alapdarabokra való borda rész ráfröccsöntéséhez felhasználható fröccsszerszámot Object 30 Pro típusú 3D nyomtató segítségével gyártottuk le VeroClear (RGD 810) alapanyagból. A fröccsszerszám felépítése a 4. ábrán látható. A fröccsszerszám zárása és nyitása, valamint az elkészült próbatetek eltávolítása kézzel történt. A fröccsszerszám részeit 2 csavarral összefogva a szerszámot a fröccsgép szerszámfelfogó lapjai közé szorítottuk. A fröccsszerszám hűtés nélküli volt, így az egyes próbatetek gyártása során meg kellett várni a szerszám visszahűlését.



4. ábra. Próbategek gyártásához használt, PolyJet technológiával készített prototípus szerszám robbantott 3D-s ábrája. (1) mozgó oldali szerszám, (2) elkészült próbatest, (3) alapelemez hézagoló és orientáló keret, (4) és (5) álló oldali szerszámok

A fröccsparaméterek közül az ömledék-hőmérsékletnek, az utónyomás nagyságának és idejének hatását vizsgáltuk a normál és nyíró irányú tapadásszilárdságra. A vizsgált paraméterek értékei láthatók az egyes beállításokra vonatkozóan az 2. táblázatban. A fröccsöntés további, nem vizsgált paraméterei a 3. táblázatban foglaltuk össze. Polimer fröccsszerszámról lévén szó, egy acél

fröccsszerszámmal képest jóval mérsékeltebb fröccsnyomásokat (befröccsöntési sebességet), valamint utónyomásokat alkalmazhattunk.

2. táblázat: A vizsgált fröccsparaméterek értékei az egyes beállításoknál

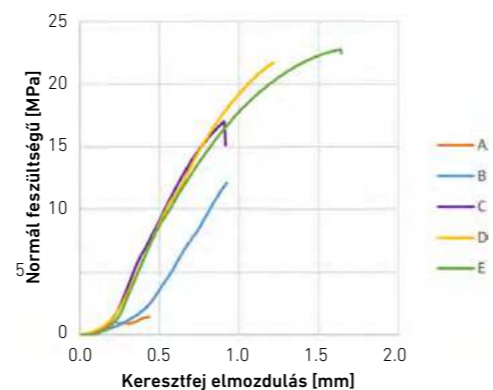
Paraméter	Beállítás				
	A	B	C	D	E
Ömledék-hőmérséklet [°C]	230	250	270	270	270
Utónyomás [bar]	80	75	75	75	75
Utónyomás ideje [s]	5	5	5	5	10

3. táblázat: A nem vizsgált fröccsparaméterek értékei az egyes beállításoknál

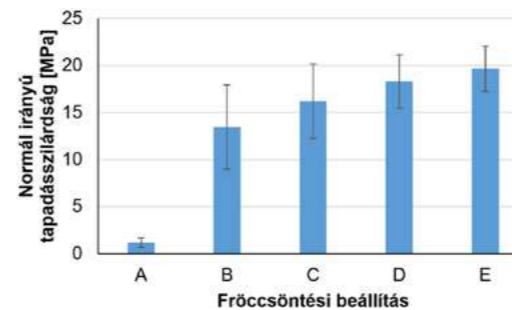
Paraméter	Beállítás				
	A	B	C	D	E
Befröccsöntési sebesség [cm <sup>3</sup> /s]	5				
Adagolási térfogat [cm <sup>3</sup> ]	15				
Átkapcsolási pont [cm <sup>3</sup> ]	12		12,4		
Hőmérséklet zónák [°C]	230-220-215-210-205	250-240-235-230-225	270-260-255-250-245		
Maradék hűtési idő (t <sub>m</sub> ) [s]	25				

#### 3.1. Normál irányú tapadásvizsgálati teszteredmények

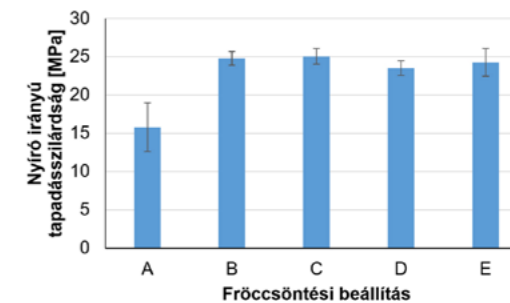
A normál irányú tapadásvizsgálat során regisztrált feszültség-elmozdulás görbékből beállításanként egy-egy látható az 5. ábrán. Az átlagos tapadásszilárdság értékek a 6. ábrán láthatók. Az értékek a vártnak megfelelően az A beállítástól az E beállításig nőnek. Mind az ömledék-hőmérséklet, mind az utónyomás nagyságának illetve idejének növelése javította a normál irányú tapadásszilárdságot. A töretfelületekről készült képek (7. ábra) is ezt támasztják alá. Míg az A beállítás esetén az alaplemezen alig van a törésnek nyoma, az E beállítás felé haladva egyre nagyobb területre kiterjedően az alaplemezről is kiszakadt anyag.



5. ábra: Normál irányú tapadásvizsgálat során regisztrált jellegzetes feszültség-elmozdulás görbék az egyes fröccsöntési beállítások esetén



6. ábra: Normál irányú tapadásvizsgálat során mért tapadásszilárdságok az egyes fröccsöntési beállítások esetén



9. ábra: Nyíró irányú tapadásvizsgálat során mért tapadásszilárdságok az egyes fröccsöntési beállítások esetén



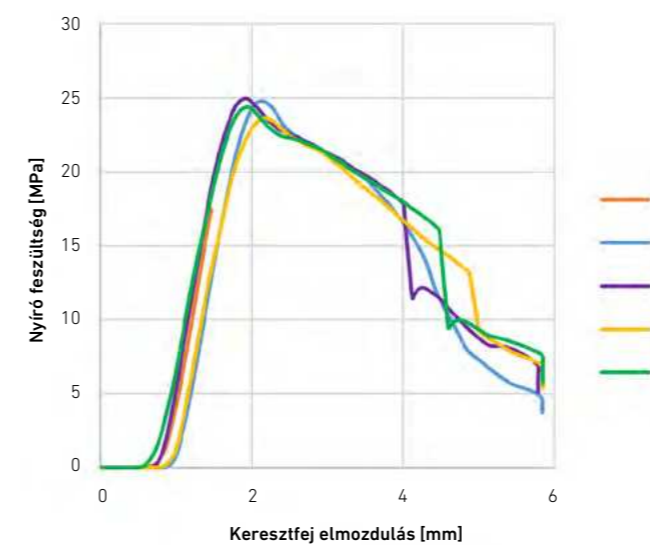
7. ábra: Jellegzetes töretfelületek az egyes fröccsöntési beállításokkal gyártott próbatetek esetén normál irányú tapadásvizsgálatnál



10. ábra: Jellegzetes töretfelületek az egyes fröccsöntési beállításokkal gyártott próbatetek esetén nyíró irányú tapadásvizsgálatnál

#### 3.2. Nyíró irányú tapadásvizsgálati teszteredmények

A nyíró irányú tapadásvizsgálat során regisztrált feszültség-elmozdulás görbékből beállításanként egy-egy látható a 8. ábrán. Az átlagos tapadásszilárdság értékek a 9. ábrán láthatók. Bár az A beállítás ebben az esetben is a legkisebb tapadásszilárdságot adta, a B-E beállítások értékei közel azonosak. A töretfelületekről készült felvételek alapján (10. ábra) az látszik, hogy ezeknél a ráfröccsöntött rész elkenődik, azaz a tapadás mértéke elérte az anyag nyírószilárdságát. Ahogy a ragasztástechnikában is a ragasztást úgy célszerű kialakítani, hogy abban nyíró igénybevétel ébredjen, mert úgy erősebb, mint normál irányban, ez a megállapítás igaz a ráfröccsöntéskor létrejövő tapadásra is.



8. ábra. Nyíró irányú tapadásvizsgálat során regisztrált jellegzetes feszültség-elmozdulás görbék az egyes fröccsöntési beállítások esetén

### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A ráfröccsöntés során merev-merev polimerek közt kialakuló tapadás erősségének vizsgálatára alkalmas módszert fejlesztettünk ki. Ugyanaz a próbatest alkalmas mind a tapadási felületre merőleges (normál), mind azzal párhuzamos (nyíró) igénybevételű tapadásvizsgálatokhoz, így a próbatetek előállításához elegendő egy szerszám. Mivel a próbatetek fröccsöntéssel készülnek, így vizsgálni lehet az anyag receptúrák mellett a ráfröccsöntés technológiai paramétereinek hatását is a tapadásszilárdságra. A vizsgálati módszer tesztelése során azt tapasztaltuk, hogy a normál irányú vizsgálat érzékenyebb a tapadásérosség változásra, mint a nyíró irányú vizsgálat.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az NKFIH Alapból, a „Fröccsönthető polipropilén alapú tapadásközvetítő kompozitok fejlesztése járműtechnológiai alkalmazásokhoz” (NVKP\_16-1-2016-0038) című projekt keretében.

#### HIVATKOZÁSOK

- [ 1 ] MSZ EN ISO 2409:2013 Festékek és lakkok. Rácsvágásos vizsgálat
- [ 2 ] MSZ EN ISO 1518-1:2011 Festékek és lakkok. A karcolással szembeni ellenállás meghatározása. 1. rész: Állandó terheléses módszer
- [ 3 ] ISO 4587:2003 Adhesives - Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies
- [ 4 ] ISO 8510-2:2006 Adhesives - Peel test for a flexible-bonded-to-rigid test specimen assembly Part 2: 180 degree peel
- [ 5 ] Ageorges C., Friedrich K., Schüller T., Lauke B.: Single-fibre Broutman test: fibre-matrix interface transverse debonding, Composites Part A, 30, 1423-1434 (1999).
- [ 6 ] Johnson A. C., Hayes S. A., Jones F. R.: The role of matrix cracks and fibre/matrix debonding on the stress transfer between fibre and matrix in a single fibre fragmentation test, Composites Part A, 43, 65-72 (2012).
- [ 7 ] Czigány T., Morlin B., Mezey Z.: Interfacial adhesion in fully and partially biodegradable polymer composites examined with microdroplet test and acoustic emission, Composite Interfaces, 14, 869-878 (2007).