

## **Műanyagok és fémek közötti vagy polietilén és polietilén önmagával kialakított kötések kialakítása lézer-, ill. plazmasugár segítségével**

A műanyagokat gyakran kell más fajta anyagokkal vagy műanyagokkal összeépíteni. Hagyományosan ezt ragasztással vagy mechanikai eszközökkel (szegecsekkel, csavarokkal) végzik. Újabban lézersugárral – ún. termikus direkt kötéssel – vagy atmoszférikus nyomású plazmasugár segítségével próbálnak nagy szilárdságú és hosszú élettartamú hibrid termékeket gyártani. A nagyon nehezen ragasztható polietilén ragasztására is vannak új ötletek.

*Tárgyszavak: műanyagok; fémek; kötéstechika; ragasztás; lézertechnika; plazmakezelés; felületi energia; polietilén.*

A németországi Fraunhofer intézetek egyikében egy új kötési eljárással, az ún. termikus direkt kötéssel próbálnak műanyagok és fémek között erős és tartós kötéseket létrehozni. Ilyen hibrid termékeket már régen használnak az autógyártásban, az elektronikában és számos más iparágban is. A termikus direkt kötés elve szerint az összekötendő anyagok egyikét, többnyire a fémet lézersugárral előkezelik; felületi struktúráját megváltoztatják, majd összejuttatják a műanyaggal.

A nehezen ragasztható polietilént a Lübecki Műszaki Főiskola kutatócsoportja szeretné ragaszthatóvá tenni. Ők az összeragasztandó felületek felületi energiáját, ennek atmoszférikus nyomású plazmasugárral végzett módosítását, felületi tulajdonságait, közöttük az érdekesség hatását tanulmányozzák.

## **Műanyagok és fémek közötti kötés kialakítása ragasztás vagy mechanikai eszközök helyett lézersugár segítségével**

Műanyagból és fémből készített hibrid építőelemeket számos iparágban – pl. az autógyártásban, a légi és űrtechnikában, az elektronikában – egyre gyakrabban alkalmaznak. A különböző fajta anyagok között azonban nem könnyű megbízható és tartós kötéseket létesíteni. A németországi Fraunhofer Intézetek Lézertechnikai Részlege (Fraunhofer Institut für Lasertechnik ILT) és az Aachen Egyetem Hegesztési- és Kötéstechikai Intézete (Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik ISF der RWTH Aachen) az kormány által támogatott AGeD projekt keretében közösen vizsgálta a műanyagok és a fémek közötti új kötési technológiát, a „termikus direkt kötést” (thermisches Direktfügen), amely nem igényel semmilyen ragasztóanyagot, és semmiféle mechanikus rögzítő eszközt, pl. csavarozást. A kötési technológia lényege, hogy az összeépítendő két elem közül a fém felületét lézersugárral előkezelik, majd a hőre lágyuló elemet ráhelyezve a két elemet megfelelő hőmérsékleten és nyomással egyesítik. Ez az eljárás még nem érett meg az üzemi alkalmazásra, mert még nem tudják, hogy a felület

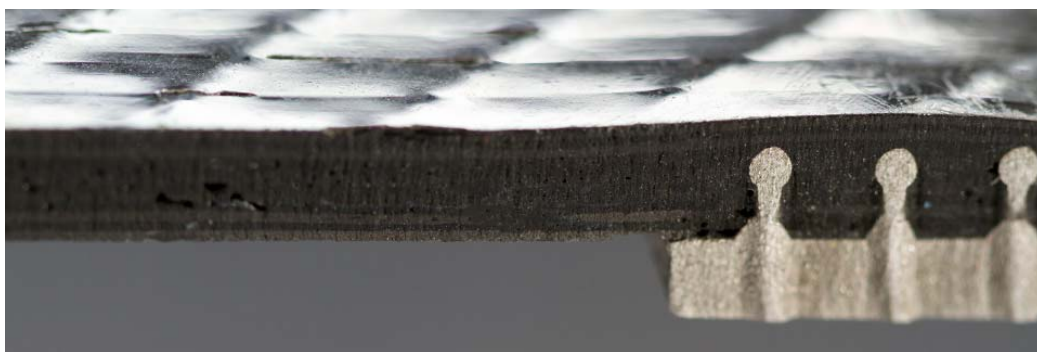
előkezelése és az anyagkombináció hogyan hat a kötés erősségére és tartósságára, vagy a hőmérséklet-változásra,

### *A felületkezelés és a kötés kialakítása*

A fémfelület előkezelése meghatározó tényezője a két elem közötti tartós kötésnek. A kötés erőssége függ a felületkezelés energetikai jellemzőitől, a felületi struktúra morfológiájától, geometriájától és kémiai tulajdonságaitól. Funkciója, hogy aktiválja és úgy változtassa meg a felület eredeti struktúráját, hogy azzal növelje a két anyag felülete közötti tapadást. A kémiai felületkezelés mellett újabban gyakran alkalmazzák a korundszemcsékkel végzett szórást és a lézersugárral végzett mikrostrukturálást, amelyekkel hátrametszéses formázatot is ki lehet alakítani.

A korundszórást viszonylag nagy nyomással végzik. Ilyenkor ritkán képződik hátrametszés, a felület struktúrája rendezetlen és nem reprodukálható. Módosított lézer-mikrostrukturáláskor a fémfelületen helyi szublimáció és olvadás megy végbe, a felület megnövekszik, és jellegzetes hátrametszések alakulnak ki. A felületen behajlások, karomszerű mikroelemek jelennek meg, amelyekbe a két elem anyaga mechanikailag is összekapaszkodik.

Az AGeD projektben az amerikai Singlemode cég szálalézerével vonalszerű csíkokat húztak, amelyek széle egyúttal hátrametszést is képezett. (A szálalézer olyan lézer, amelyben az aktív erősítő közeg egy ritkaföldfém elemekkel, például erbiummal, itterbiummal, neodímiummal, diszprózium, praeodímiummal, túliummal vagy holmiummal adalékolt optikai szál.) Emellett egy lézerszkennelőlézersugarával más irányban, de ugyancsak egyenes vonalak mentén folytatták a felületkezelést. A lézersugárzás intenzitása a fém egy részét elpárologtatta, a gőzök az ömledéket oldalra terelték, és többszöri ilyen kezelés, majd a megdermedés után kialakult egy olyan a struktúra amely vékony nyakon álló, cseppekre emlékeztető elemekből épült fel (1. ábra). A struktúrelemek eloszlásának előre tervezésével és azok sűrítésével előállítottak derékszögben egymást metsző vonalakkal négyzetű rácsozott felületet is, amellyel megnövelték a kötési erőt.



1. ábra Ez a későbbi vizsgálatokhoz felhasznált, átlapolts próbatest egy részét mutatja. Az ábra jobb oldalán, az átlapolásnál láthatók az üvegszálal polimerrel összeépített fém felületkezeléssel kialakított, álló cseppekre emlékeztető felületi struktúrelemei

A fém és a polimer közötti tartós kötés csak akkor alakulhat ki, ha a hőre lágyuló polimer lokálisan olvadáspontja fölé melegszik, hogy a fémfelület rendkívül nagy nyomása alatt



2. ábra A Kist-Escherich cég termikus direkt kötésekhöz ajánlott *hyJoin* márkanevű sajtológépe

olvadéka benedvesítse a fémfelületet és kitöltse a strukturális elemeket. A 2. ábrán egy termikus direktkötéshez ajánlott sajtológép látható. A fémfelületet fel szokták fűteni, hogy a polimer felületét megolvassza. Erre indukciós, hőelemes vagy lézersugaras hőforrásokat is használnak.

A különböző kötési eljárásoknak megvannak az előnyei és hátrányai. Kiválasztásukkor meg kell gondolni, hogy mit várnak el az eljárástól, milyen a gyártandó termék geometriája, és milyen tulajdonságú anyagokat akarnak alkalmazni. Lehet, hogy a lézersugaras kötés nagyon jól beválna egy rövid ciklusidejű gyártáshoz, de figyelembe kell venni azt is, hogy hogyan jut el a lézersugár a kötés zónájába. Indukciós fűtéssel a nehezebben hozzáférhető darabok is melegíthetők, de ezekkel hosszabb lesz a gyártási ciklus, emellett az ilyen fűtést a kötési zóna geometriájához kell illeszteni. Amíg a kötési fázisban a polimerömladék jól nedvesíti a fémfelületeket és a struktúra elemeit, nincs nagy különbség a különböző eljárások között.

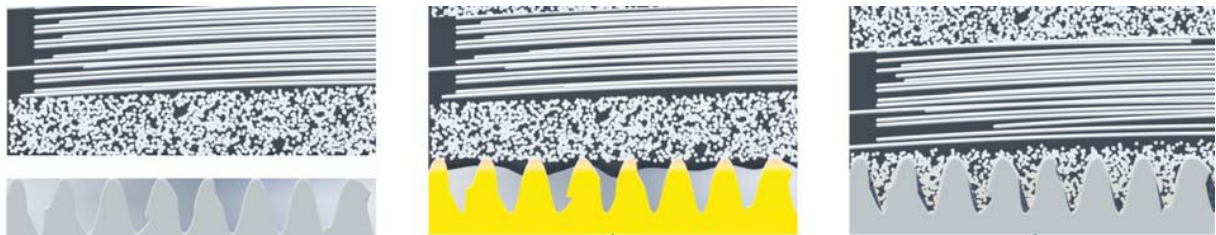
#### *A párosítandó anyagok és a kötési erő közötti összefüggés vizsgálata*

Két anyag kombinálásakor mindenkor számítani kell arra, hogy megváltoznak a felület előkezelésének követelményei és megváltozik a kötési mechanizmus is. Az AGeD projekt keretében a munkacsoport fémeket (háromféle alumíniumot, jelzésük: EN-AW-1050, EN-AW-5050, EN-AW-6060; kétféle acélt, jelzésük: 1.4404, cinkeztett DC06) és háromféle 30% üvegszállal erősített műanyagot (*PA6/GF30*, *PP/GF30*, *PBT/GF30*), továbbá egy töltőanyag nélküli polimert (POM) kombinált egymással. A fémek felületét kétféle módon, korundszórással vagy diódlézersugaras mikrostrukturálással előkezelték. A fémekből és a műanyagokból húzó-vizsgálatokhoz szabványos próbatesteket gyártottak, az átlapolásnál a két anyag között tapadást termikus direkt kötéssel hozták létre. A *PP/GF30* és a cinkeztett DC06 összesajtolásának három fázisa a 3. ábrán látható. A 4. ábra a korunddal, ill. a lézersugaras felületkezelést kapott próbatesteken mért húzószilárdságot mutatja. Látható, hogy némely anyagpár között a korunddal szórt felülettel is jó tapadást kaptak; ezt a polimer polaritásának tudják be. Az ennek nyomán kialakult adhéziós erők feltehetően hozzájárultak a két anyagot összetartó erőkhöz.

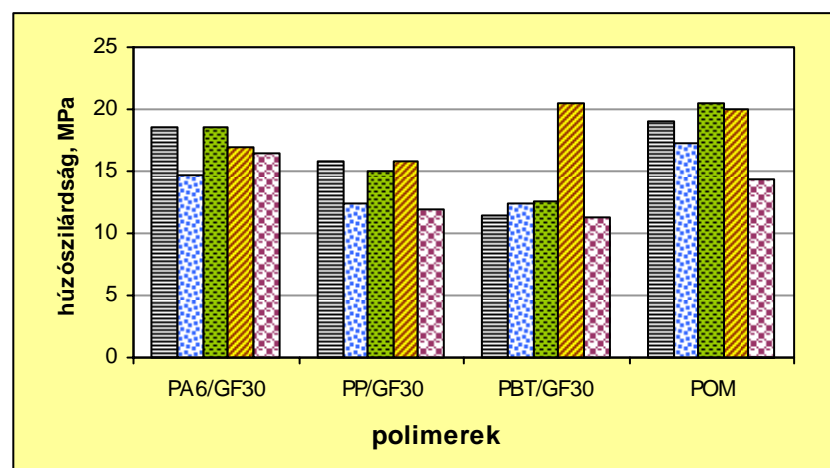
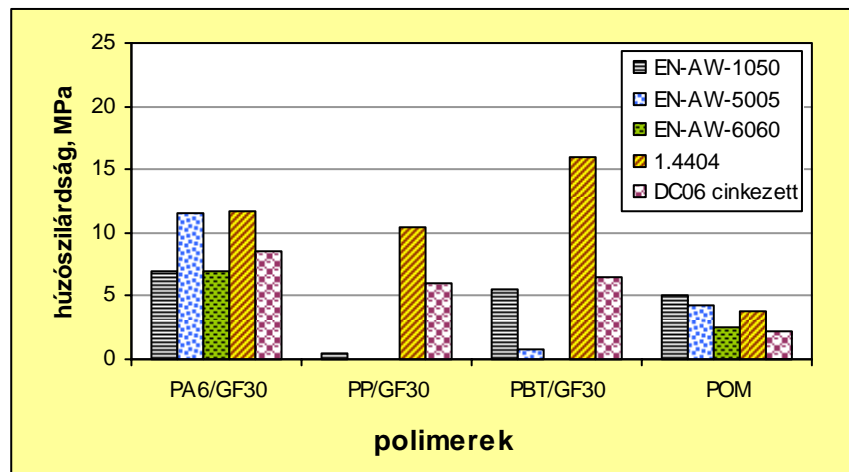
A lézersugaras felületkezelés azonban valamennyi anyagpárnál – a polaritástól függetlenül – 10 MPa-nál nagyobb húzószilárdságot eredményezett, ami a lézersugár okozta, hátrametszések tartalmazó, reprodukálható felületi struktúrának köszönhető. Ez új alkalmazási területeket nyithat meg az anyagok társításának, de valószínű, hogy ez a mechanikai egymásba kapaszkodás az ilyen termékek öregedését is lassítja, mert csökkenti a külső negatív hatások okozta degradációt.

Más felület-előkezelő eljárásokat, mint pl. a besugárzást atmoszférikus nyomású plazmával vagy tapadást növelő anyag alkalmazását csak kevés anyagkombinációhoz használják.

A hibrid kötések eddig publikált húzószilárdsági adatai főképpen lézersugárral mikrostrukturált anyagok vizsgálatának az eredményei.



3. ábra A PP/GF30 és a cinkeztett DC06 acél közötti kötés kialakításának három fázisa. Első fázis: felül az üvegszálas hőre lágyuló polimer, alul a lézersugárral felületkezelt fémfelület (bal oldali kép). Második fázis: a fémfelület felmelegítése és összesajtolása a polimerrel (középső kép). Harmadik fázis: hűtés és megszilárdulás. A fém és a polimer között kialakult a kötés (jobb oldali kép)



4. ábra A fémek és a polimerek termikus direkt kötással átlapolt próbatestjein mért húzószilárdságok. A felső kép a korunddal felületkezelt fémekkel, az alsó kép a diódlézerrel kezelt fémekkel összeépített polimerek húzószilárdságát mutatja

## *A hibrid kötések viselkedése változó környezeti körülmények között*

A friss kötések szilárdsága mellett azt is tudni kell, hogy hogyan viselkednek a hibrid kötések hosszabb idejű alkalmazásuk során, és hogyan hatnak rájuk a környezeti hatások. Pl. azt, hogy a kétféle anyag eltérő hőtágulása váltakozó hőmérséklet mellett hogyan befolyásolja a kötések szilárdságát.

A kutatócsoport a PP/GF30 polimer lézersugárral előkezelt EN-WA-6060 alumíniumlemezzel, ill. a cinkeztet DC06 acéllemezzel átlapolással társított próbatestjeit ezért váltakozó körülmények között tárolta egy klímaszekrényben, és a váltakozó ciklusok számának függvényében mérte húzószilárdságuk változását. A klímaváltozást az autógyártásban alkalmazott VW P1200 szabvány szerint végezték. Egy ciklusban a próbatesteket 80 °C hőmérséklet és 95% relatív páratartalom mellett, majd -40 °C hőmérsékletnek tették ki, és 0, 2, 10 és 30 ciklus után mérték húzószilárdságukat. Ezek a ciklusok számának sorrendjében a következők voltak: az alumíniummal társított próbatesteken:

PP/GF30 EN-WA-6060 0 ciklus 11,5; 2 ciklus 8,9; 10 ciklus 10,2; 30 ciklus 13,3 MPa

PP/GF30 cinkeztet DC06 0 ciklus 8,4; 2 ciklus 9,3; 10 ciklus 12; 30 ciklus 12,4 MPa.

Látható, hogy a hőmérséklet váltakozása nem járt jelentős szilárdságváltozással, bár ezeknek a vizsgálatoknak az eredményei nem vihetők át bármilyen anyagpárra. Ennek ellenére remélhető, hogy a termikus direkt kötés széles alkalmazási területeken kielégíti majd az elvárt stabilitást.

## *Lehet, hogy a termikus direkt kötés lesz a jövő technológiája?*

Az eddigi vizsgálatok alapján máris kijelenthető, hogy a különböző anyagok jelenleg használt kötéstechnológiái (ragasztás, szegecselés, csavarozás) mellett a termikus direkt kötés egy új, alternatív technológiát jelent. A felületen lézeres mikrostrukturálással kialakított hátrametszések nagy kötési szilárdságot adnak a hibrid szerkezetnek, és ez csak mérsékleten függ az anyagfajtától. Bizonyos anyagpárok között a viszonylag egyszerűen alkalmazható korundszórással is erős kötés alakítható ki.

Az első klímavizsgálatok igazolták, hogy az ilyen kötések hosszú élettartamúak lehetnek. A kutatók további munkájukban újabb felületkezelési eljárásokat szándékoznak kipróbálni, amelyekkel bővíteni szeretnék a termikus direkt kötések alkalmazási területeit. Az autógyártásban a hőmérséklet-változás okozta elváltozások mellett fontos az is, hogy a kötések ne gyöngítse meg a korrózió. Az elektronikus komponensek burkolataiba mindenekelőtt a gépkocsikban előforduló különböző vegyi anyagok behatolását kell megakadályozni. A kötések korrózióval szemben mutatott ellenállását a *DIN ISO 11997* szabvány szerint fogják vizsgálni.

## **Hogyan növelhető a PE/PE ragasztások kötési erőssége?**

Gyakran előfordul, hogy műanyag és műanyag, néha két ugyanazon műanyagból készített elemek között kell kötést létrehozni, aminek legegyszerűbb módja a ragasztás volna. Némely műanyagfajta azonban nehezen ragasztható, nem érhető el általa a kívánt kötési szilárdság. Gondot okoz az is – különösen, ha a műanyag átlátszó – hogy a határfelületek a ragasztótól elhomályosodnak vagy más, minőséget csökkentő elváltozást szenvedhetnek.

Némely ragasztó tapadást növelő adalékot (primernek is nevezik) tartalmaz, vagy ilyen hatású anyaggal előkezelik a ragasztandó felületeket. Ez feloldja a felület legfelső rétegét, ami megkönnyíti a ragasztóanyag behatolását az alsóbb rétegekbe, az adhézió mellett a molekulák között mechanikai kapcsolódások jönnek létre, ez által növekszik a kötés erőssége. Vannak olyan tapadást növelő anyagok is, amelyek kémiai kötéseket hoznak létre, tulajdonképpen anyagi változást okoznak a határfelületeken, ami fokozottan ronthatja az átlátszóságot. Léteznek egészséget veszélyeztető primerek is, ezek alkalmazását el kell kerülni.

### *A felületi energia növelése plazmasugárással*

A polietilének a nagyon rosszul ragasztható műanyagok közé tartoznak. Németországban a Lübecki Műszaki Főiskola Főiskola (TH Lübeck) kutatócsoportja ennek a műanyagnak a ragaszthatóságát akarja lehetővé tenni. Ezt a cél a felület feldurvításával és a felületi energia növelésével próbálják elérni.

A felületi energiát ún. teszttintákkal is lehet mérni, de ezek néha nem elég pontosak. Megbízhatóbb eredményeket lehet kapni úgy, hogy meghatározzák a felületi energia diszperz és poláris részarányát; ezek összege a teljes felületi energia. Két azonos teljes felületi energiájú műanyag nem vagy csak nehezen ragasztható össze, ha a felületi energia diszperz és poláris részaránya erősen eltér egymástól. Jól ragasztható két anyag, ha mindkettő + a ragasztó diszperz és poláris részaránya nagyon hasonló.

### *Felületkezelés atmoszférikus nyomású plazmasugárral*

A kutatók az atmoszférikus nyomású plazmasugárral előkezelt próbatestek egy részét félkész lapokból mechanikai eszközökkel vágták ki, másik részét granulátumból fröccsöntötték. A fröccsöntött pálcák felülete előkezelés előtt eltért a lapokból kivágottakétól, az előbbieken egy vékony, szerszámfallal érintkező réteg szerkezete amorfabb, mint a belső rétegekben. Feltételezték, hogy ez az eltérő tulajdonságú felületi réteg befolyásolhatja majd a ragasztáskor az adhéziót. A pálcák felületi energiáját *FM 40 Easy Drop* márkájú kontaktszögmérő eszközzel mérték (gyártja Kröss GmbH), és *OWRK* (Owens, Wendt, Rabel és Kaelbe) modellszámítással határozták meg a teljes felületi energia diszperz és poláris arányát. A mérések maximális hibája  $0,5 \text{ mJ/m}^2$  volt.

A pálcák előkezeléséhez kétféle atmoszférikus nyomású plazmasugárzó berendezést alkalmaztak. Mindkettő a hideg lángos típusok közé tartozik, és a plazmasugarat gáznyomással fújja ki a fűvókán.

A *PlasmaBeam* elnevezésű berendezés (gyártja a Diener elektronik GmbH & Co KG Ebhausen, Németország) generátorfrekvenciája 29 kHz, teljesítménye 300 watt, levegővel dolgozik, lángjának hossza 20 mm, szélessége 3,5 mm, a plazmasugár hőmérséklete  $\sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ . A kezelt felület hőmérsékletét hőérzékelő kamerával mérték. A kezelt felület és a fűvóka távolsága 10 mm volt. Elmozdulás nélküli sugárással a felület 1 s alatt  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra, 15 s alatt  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra melegedett.

Hogy a műanyag felületét eredményesen aktiválják, de termikusan ne sértsék meg, dinamikus soronkénti plazmasugárzást kell alkalmazni. A 10 mm-es fűvókátávolságból és 40 mm/s sebességgel húzott egyenes vonalak közötti távolság 4 mm volt. A kezelést addig végezték, amíg a felület el nem érte a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletet. Ugyanilyen sortávolsággal, de na-

gyobb mozgási sebességgel, vagy nagyobb fűvókátávolsággal nem tudták a felületet 50 °C fölé melegíteni. Túl gyors lángvezetéssel vagy a túl nagy fűvókátávolsággal nem lehet eredményes az aktiválás. A plazmasugárnak szemmel láthatóan érintenie kell a kezelt felületet.

A *KinPen II* nevű berendezés (gyártja az orvosi eszközökre szakosodott Neoplas Med GmbH, Greifswald, Németország) teljesítménye 10 W, argon gázzal működik, a plazmasugár hossza 15 mm, szélessége 1,5 mm, a plazmasugár hőmérséklete 40 °C alatt van. A kezelt felület az előbbi beállítások mellett (10 mm fűvókátávolság, néhány perces mozgítás nélküli besugárzás) maximálisan 30 °C-re melegített fel a felületet. A dinamikus soronkénti besugárzással pedig mindössze 25 °C-ig jutottak el.

### *A felületi érdesség megváltoztatása*

A kutatók a felület érdességét roncsolásmentesen az FRT GmbH *MicroProf Multisensor* márkanévű kromatikus fehér fényt érzékelő szenzorával végezték, ennek méréstartománya 10 nm-nél kezdődik. Az érdességet a következő értékekkel jellemzik: Ra, átlagos (aritmetikai) érdesség, a profil pontjainak a középvonaltól mért átlagos távolsága; Rz, egyenetlenségmagasság, az alaphosszon belül észlelt profil 5 legmagasabb és 5 legalacsonyabb pontjának a középvonaltól mért távolságából számított átlag; Rm a legnagyobb mért érték.

A kezeletlen PE próbatesteken mért Ra = 0,41 μm, Rz = 2,6 μm, Rmax = 4,8 μm volt; a PlasmaBeam plazmasugárzóval végzett felületkezelés után Ra = 0,29 μm, Rz = 1,6 μm, Rmax = 6,3 μm értékeket mértek. A plazmás felületkezelés után más kutatók is észlelték a felület bizonyos mértékű kisímitását, és a kutatók szabad szemmel is látták, hogy a pálcák felülete tükrözőbbé vált. A KinPen plazmasugárzóval kezelt pálcák felületi érdessége a kezelés után nem változott meg.

Az pálcák átlapolásához kétféle ragasztót használtak. Az egyik az Uhu GmbH & Co cég epoxialapú kétkomponensű *Uhu Plus Endfest 300* márkanévű ragasztója, amelyen térhálósítás után 45 mJ/m<sup>2</sup> felületi energiát mértek (diszperz aránya 33 mJ/m<sup>2</sup>, poláros aránya 12 mJ/m<sup>2</sup>). Felületén a víz 65 fokos kontaktszöget, a dijód-metán 52 fokosot adott. A ragasztó adatlapja szerint ezt AlCuMg-1 alumíniumpálcával társítva szobahőmérsékleten végzett térhálósítás után a kötés húzószilárdsága 12 MPa.

A másik ragasztó a Henkel AG & Co. KGaA egykomponensű, ciánakrilát-alapú, *Pattex Sekunderkleber Platix Flüssig* nevű gyártmánya, amelyhez tapadást növelő primert is adnak. Kikeményedés után ezen 33 mJ/m<sup>2</sup> diszperz felületi energiát mértek, a poláros felületi energia értéke 0 volt. A kontaktszög vízzel 101 fok, dijód-metánnal 52 fok.

### *A felületi energia és a húzószilárdság*

A felületi feszültséget a PE lapból kivágott (kv) és a fröccsöntött (fr) próbatesteken plazmakezelés előtt, majd plazmakezelés után is mérték. A következő diszperz (d) és a poláros (p) felületi energiaértékeket kapták mJ/m<sup>2</sup>-ben:

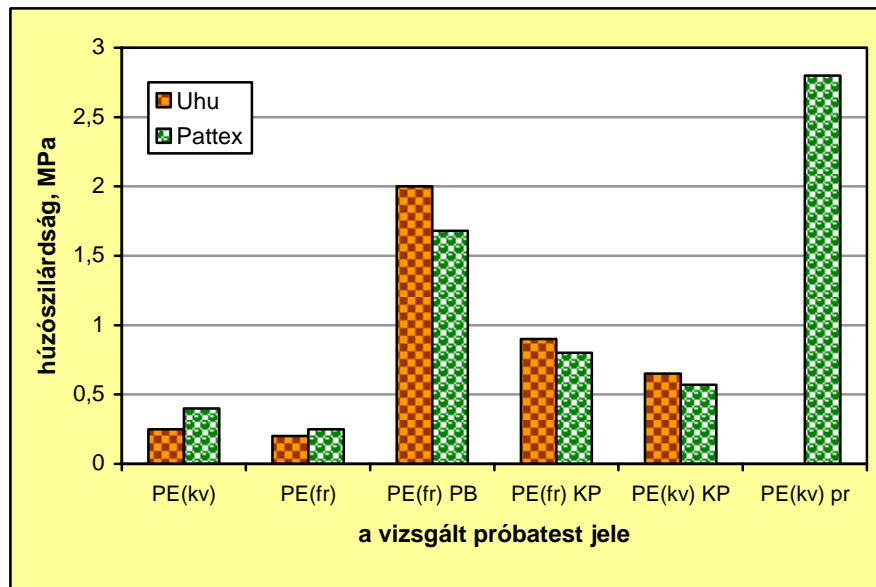
Kezelés előtt: PE (kv): d = 30, p = 5; PE (fr): d = 32, p = 3;

Kezelés után: PE (fr) PBeam kezelés: d = 40, p = 12; PE (fr) KinPen kezelés:

d = 39, p = 14; PE (kv) KinPen kezelés: d = 37, p = 34.

Ezekből az értékekből kiderült, hogy a *polietilén és a két ragasztó felületi energiájának diszperz hányada csak kevéssé tér el egymástól*. A plazmakezelés után a PE felületek poláros energiájának részaránya növekedett, és elérte az Uhu ragasztóét. A rövid plazmasugárzás hatására a PE diszperz energiája is nőtt. Mindkettőt a PlasmaBeam plazmasugárzó készülék növelte nagyobb mértékben.

A polietilén próbatesteket ragasztás előtt alkohollal tisztították, majd szobahőmérsékleten a kiválasztott ragasztókkal átlapolva összeragasztották, és 24 óra hosszat ugyancsak szobahőmérsékleten térhálósították őket. A húzóvizsgálathoz felületkezelés nélküli és felületkezelt próbatesteket is készítettek. A vizsgálati eredmények az 5. ábrán láthatók.



5. ábra A próbatesteken mért húzószilárdságok.

[A próbatestek jele: PE(kv) lapból kivágott pálcák, PE(fr) fröccsöntött pálcák, PB PlasmaBeam plazmasugárzóval előkezelt pálcák, KN KinPen plazmasugárzóval előkezelt pálcák, pr Pattex ragasztó előtt primerrel előkezelt pálcák]

A legnagyobb húzószilárdságot a plazmakezelést nem kapott, de a *Pattex* ragasztóhoz mellékelt tapadásnövelő primerrel előkezelt pálcák közötti kötés szilárdsága jelentősen túlszárnyalta a plazmakezelést kapott és UHU ragasztóval átlapolt próbatestek szilárdságát. Ez azzal magyarázható, hogy a felületi energiák nagyon hasonlóak voltak, és az energia poláros részaránya csekély volt. Az *Uhu* ragasztó jóval polárosabb, emiatt kisebb a tapadása. A lapból kivágott pálcákat kicsit jobban lehetett ragasztani, mint a fröccsöntötteket. A különbség ugyan a hibahatáron belül van, ezért némileg kritikusan kell ezt a megfigyelést kezelni. A plazmakezelés azonban mindkét próbatestfajta ragaszthatóságát növelte. A plazmával kezelt pálcák közül az Uhu ragasztóval átlapoltak voltak a legjobbak. Meg kell jegyezni, hogy a primerrel előkezelt és Pattexszel ragasztott pálcák felülete a primer felvitele után kicsit elhomályosodott.

#### *A vizsgálatokból levonható következtetések*

A plazmás felületkezelés feldurvíítja a felületet, fel is olvasztja a felület egy vékony rétegét és új funkciókat is generálhat. Mind a három jelenség többé-kevésbé befolyásolja a ra-



gaszthatóságot. Az atmoszférikus nyomású plazmaszórásnak emellett tisztító hatása is van, ami pozitíven hat a ragasztásra. Az előbbieken ismertetett vizsgálatokból kiderült, hogy ha a felületre nem irányítanak elegendő energiát (ilyenek volt a KinPen plazmaszóró eszközzel végzett felületkezelések), elmarad a felület durvítása és megolvadása. A felületi energia megnövelésével azonban javul a polietilén ragaszthatósága. Ha a felület oxigéntartalmát növelik, új funkciós csoportok képződnek rajta, amelyek a teljes felületi energia poláros részarányát növelik.

Ennek köszönhető a PlasmaBeam plazmasugárzó készülék ragasztásra gyakorolt jobb hatásfoka. Az atmoszférikus nyomású plazma a részlegesen kristályos polimert nagyon rövid idő alatt felmelegíti, majd lehűti, és a termikusan indukált fázisváltás ideje alatt a kristályos szerkezet néhány mikrométer mélységig amorffá változik. A felbolygatott, inkább amorf és lazább felületszerkezetbe könnyebben bediffundál a ragasztóanyag, amely stabil kötéseket képez a polimerrel. Ha a felület érdesebbé válik, ez tovább növeli a ragaszthatóságot.

Az Uhu ragasztó poláros, emiatt az apoláris polietilénfelületen a KinPen plazmasugaras készülékkel végzett felületkezeléskor funkciós pontok képződtek, ami javította a ragaszthatóságot. Ha ezzel az eszközzel elérnék azt, hogy a felületi réteg megolvadjon, az Uhu ragasztóval hasonlóan jó ragasztásokat lehetne készíteni, mint a PlasmaBeam készülékkel. Összefoglalva a kutatók megállapították, hogy a poláris Uhu ragasztót egy erősen poláris felületi energiájú anyag ragasztásához célszerű választani, a felületkezeléshez pedig a legnagyobb poláris felületi energiát kölcsönző PlasmaBeam készüléket kell alkalmazni.

Ami a polietilént és a Pattex ragasztót illeti, mindkettő apoláros, felületi energiájuk diszperz és poláros részarányuk hasonló, ezért ragasztásuk a primer alkalmazásával vagy a felület amorfizálásával (pl. PlasmaBeam készülékkel) sikeres lesz. Plazmakezeléssel (pl. KinPen készülékkel) csupán a funkcionizálás, és jelentősebben a teljes felületi energia poláros részaránya növelhető, a ragasztás javulni fog.

Általában azonban tanácsolható, hogy mielőtt meghoznák a végső döntést a ragasztásra, mérjék meg az ott alkalmazandó anyagok felületi energiáját, és végezzenek ragasztott próbatestekkel szakítási próbákat. Extrém esetben ugyanis az is megtörténhet, hogy a plazmás előkezelés rontja az anyagok ragaszthatóságát.

Ha a ragasztási határfelület tulajdonságai, pl. átlátszósága nem változhat, ezt szavatoló funkcionizálást kell végrehajtani. Ez a beavatkozás néha a ragasztást is megkönnyíti, de a határfelületen más tulajdonváltozást is okozhat.

Összeállította Pál Károlyné

van der Straeten, K.: Alternativen zum Kleben und mechanischen Fügen = Kunststoffe, 2020. 12. sz. p. 19.

Verschmelzen statt Kleben. Thermisches Direktfügen: Metalle und Kunststoffe direkt verbinden. = <http://www.fef-aachen.de/werkstoffe/-mischverbindungen-metall-kunststoff-fuegen.html>  
Thermisches Direktfügen von Metall mit Kunststoff nun mit kommerziellen Anlagentechnik.  
hyJOIN-Fügestation der Firma Kist + Escherich zum thermischen Direktfügen von Metall mit Kunststoff. 17. September 2021 = <https://www.kunststoffe.de/a/produktmeldung/-thermisches-direktfuegen-von-metall-mit--342671>

Kunststoffe mit Metalle durch Wärme direkt fügen = kgk-rubberpoint.de. 2021. jún. 21.

<https://www.google.com/search?source=univ&tbn=isch&q=thermisches+direktf%C3%BCgen+von+metall+und+kunststoff&client>

Bender, A.; Fricke, S.: Polyethylen mit Polyethylen besser kleben = Kunststoffe, 2021. 2. sz. p. 48–51.