

## Műanyagok újszerű kötése műanyaggal és fémmel

A fejlett országok csak akkor maradnak versenyképesek az alacsony munkabérű országokkal szemben, ha a jó minőség megtartása mellett új technológiákkal növelik termelékenységüket. Német és svájci kutatók fémek és műanyagok kötésére fejlesztettek ki újszerű módszereket, amelyekkel munkafázisokat takaríthatnak meg.

*Tárgyszavak: műanyagok; fémek; hibridizálás; tapadás; ragasztás; felületkezelés; lézertechnika; lángszórás; elektromágneses tér; kofröccsöntés; ömledékragasztó.*

Az alacsony munkabérű országokban kiépített műanyag-feldolgozás a világpiacon alacsonyan tartja az ott gyártott termékek árát. A magas bérű országok ezzel csak úgy tudnak versenyképesek lenni, ha gyártástechnológiájukban a legmagasabb műszaki színvonalat valósítják meg, amellyel csökkenthetik gyártási költségeiket. A fejlett országok kutató-fejlesztő csoportjai ezért erőteljesen dolgoznak az olyan eljárások bevezetésén, amelyekkel kis beruházással jelentős költségcsökkenést érhetnek el. Egy németországi kutatócsoport a műanyagok és a fémek nagy szilárdságú kötésére kínál új módszereket, egy svájci kutatócsoport pedig eljárást fejlesztett ki műanyagra fröccsöntés közben rávihető és a későbbiekben aktivizálható ragasztóréteg kialakítására.

## Műanyagokból és fémekből álló hibrid rendszerek kialakítása

Építőanyagok társításával – hibridizálásával – nagyon eltérő tulajdonságú anyagokat lehet egyesíteni úgy, hogy mindkét anyag jó tulajdonságai megjelenjenek a termékben. Ennek különösen a könnyűszerkezetes építésmód látja hasznát, ahol könnyű és ugyanakkor merev anyagokra van szükség. Hibrid anyagok alkalmazásával megtekinthető az összeszerelés, megrövidül a gyártósor, olcsóbb lesz a gyártás. Az autógyártásban és a repülőgépgyártásban különösen nagy igény volna az ilyen anyagokra, amelyeket nagy sorozatokban kellene előállítani. Ezekkel tovább lehetne csökkenteni a járművek tömegét, és csak a nagy terhelésnek kitett pontokon kellene erősítéseket beépíteni.

A műanyagok és a fémek a járműgyártásban jelenleg egymás versenytársai. Az iparág számára a műanyagok kisebb tömegűk, alacsonyabb árú, kevésbé korlátozott formázhatóságuk miatt vonzóak, a fémekekről viszont jobb mechanikai tulajdonságaik, nagyobb terhelhetőségük miatt nem tudnak lemondani.

Az Aacheni Rajna-Vesztfáliai Műszaki Főiskola (**RWTH, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen**) egyik kutatócsoportja (*Exzellenz-cluster*) fémek és műanyagok közötti hibrid kötések létrehozásának lehetőségeit tanulmányozta. A hagyományos ragasztást azért vetették el, mert annak hosszú a technológiai ideje, korlátozott a hőállósága és a szilárdsága, az utóbbi pedig erősen függ az összeragasztott felületek tulajdonságaitól és az igénybevétel módjától. A ragasztott és az összezsavazott alakzáró szerkezetek előnye, hogy elviselik a formázást, pl. a hajlítást, de ezt jól tűrik a hibrid anyagok is.

A különböző tulajdonságú anyagok társításakor óvatosan kell eljárni, fémek és műanyagok összeépítésekor különösen az eltérő hőtágulásra és olvadáspontonra kell figyelemmel lenni. Hibrid anyagok előállításakor az összeillő anyagpárok kiválasztása és az összeépítésükhöz alkalmazott technológia is döntően fontos. Az aacheni kutatócsoport kísérletei során a kezeletlen próbatestek mellett kétféle módon felületkezelt próbatesteket alkalmazott és háromféle kötési technológiát próbált ki.

### *A próbatestek előkezelése*

*A próbatestek első csoportjában semmiféle felületkezelést nem alkalmaztak.* A második és a harmadik csoportban a műanyag és a fém közé műanyagréteget vittek be. Az előkezelés elhagyásának előnye a forráskímélésen kívül az erre fordítandó költségek elmaradása. Hátránya a közepes kötési szilárdság, a tapadási szilárdság erős szórása és a kevésbé poláros műanyagok (pl. a polikarbonát) tapadásának a teljes elmaradása.

*A második csoportnál a műanyag próbatest felületén termikus szórást (lángszórást) végeztek a GTV Verschleiß-Schutz GmbH Kunststoffflammspritze GTV Unispray Jet nevű szórópisztolyával.* A pisztolyból kiáramló etilén- és oxigénkeverék finom műanyagport hozott magával (amely az égő lángjában megolvadt), és az ömledéket nagy sebességgel az előmelegített fémfelületre sodorta, ahol a cseppek a mikrométerű egyenetlenségekben nagy erővel megtapadtak. A későbbi összesajtoláskor már az azonos műanyag rétegei olvadtak össze és teremtettek nagy tapadási szilárdságot a fém és a műanyag között. A lángszórással végzett előkezelés előnyei a bizonyos speciális esetekben elért igen nagy kötési szilárdság, a szükséges eszközök csekély költségei, továbbá a polimerréteg felvitele révén a meglévő műanyag-hegesztési eljárások felhasználhatósága. Hátránya a kiegészítő munkaművelet és a kiegészítő anyag.

*A harmadik csoportban a fémfelületet lézersugárral strukturálták.* A megolvadt fém mikroszerkezetében hátrametszések és feltorlódott karomszerű fémhalmazok is képződtek. Ez feleslegessé teszi köztes anyag alkalmazását. Előnyei a kis átlapolás mellett is erős kötési szilárdság, a hatásos kötési felület megnövekedése, a médiazáró kötés lehetősége. Hátránya a kiegészítő munkaművelet és a szükséges eszközök beruházása.

### *Az előkészített fém és műanyag próbatestek kötése*

A megfelelően előkezelt (vagy nem kezelt) anyagokat egymásra átlapolva nyomás alatt felhevítették, majd kihülés után mérték a kialakult kötés húzó-nyíró szilárd-

ságát. A felhevítéshez háromféle eljárást alkalmaztak: lézersugaras átvilágítást, hővezetést és indukciós felmelegítést. A *termikus összesajtolás* előnye, hogy külső erővel lehet a műanyagot a fém egyenetlenségeibe belenyomni. Az eljárás termelékeny, kicsi az eszközigénye, a hőenergiát a formadarab adottságaival harmonizáló módon, a hőmérséklet szabályozása mellett lehet a kötési zónába bevezetni.

*Lézeres átvilágításkor* a műanyag a lézersugár számára „átlátszó”, akadály, adszorpció nélkül hatol át rajta. A fémbe viszont elnyelődik, ettől a fém felmelegszik és megolvasztja a műanyagot is. A lézersugár tetszőleges vonalban vezethető, ezért a fém és a műanyag között tetszőleges vonalú kötés alakítható ki. Pirometriás szabályozással beállítható az optimális kötési hőmérséklet. A nagy energiasűrűségű lézersugár a felületet rövid idő alatt csak lokálisan melegíti fel, ezért a kötés és a hűlés ideje is rövid.

*Ha hővezetéssel melegítik fel a kötendő felületeket*, a fémet hőpatronnal hevítik fel, majd ezután hozzák érintkezésbe a két anyagot. A nyomást teljes lehűlésig tartják fenn.

*Indukciós felfűtés*kor a teljes fémfelület egyszerre melegszik fel érintésmentesen, rövid idő alatt az indukált áram hatására. A nyomóbélyeg meghatározott idejű nyomása alatt a műanyag behatol a fémfelület egyenetlenségeibe. A fém és a műanyag között részben adhéziós kötések, részben a horogszerű alakzatoknál fizikai kötések alakulnak ki.

#### *A kísérletek eredményei és tapasztalatai*

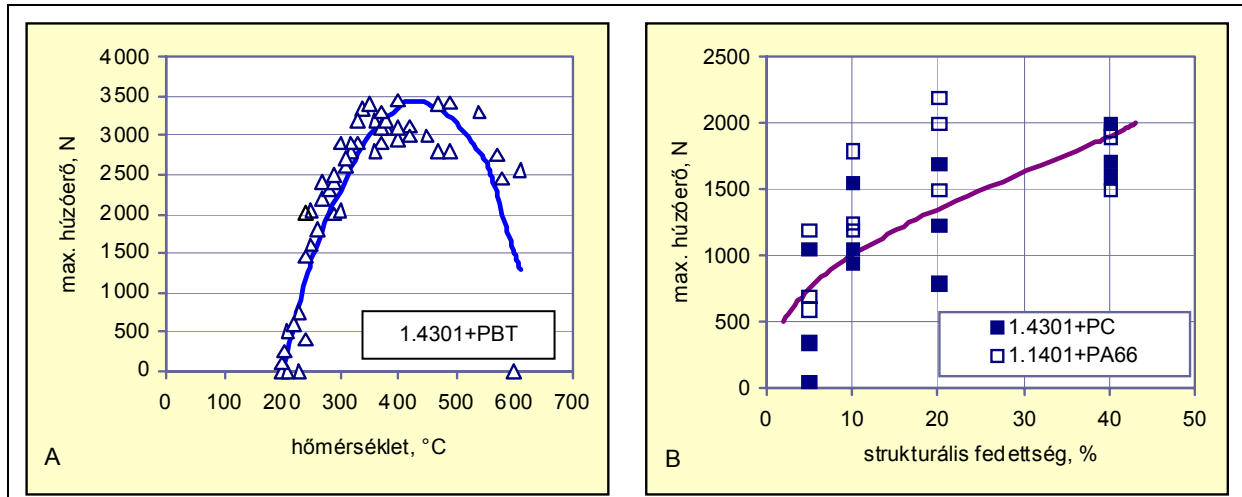
A műanyag és a fém próbatestek teljes formazárással (Formschluss) épültek össze, az összetartó erő mikrokapcsolódásokból és adhéziós erőkből – elsősorban fizikai adszorpcióból (fiziszorpcióból) – származott. A tökéletes formazárást a fémfelület egyenetlenségei tették lehetővé, amelyekbe a műanyag be tudott hatolni.

A fiziszorpció a diszperziós és dipólerők által atomi szintű tapadást tesz lehetővé. A fém és a műanyag közötti nagy kémiai különbségek miatt azonban a két anyag közötti tapadás nem éri el az összeépülés (Verklammerung) szilárdságát, de lehetővé teszi síkszerű építőanyagok összeépítését.

*A kötési szilárdság célszerű felületkezeléssel növelhető.* A fémfelület lézeres strukturálásával megnövelhető a fajlagos felület és hátrametszések, horog vagy karomszerű „akasztók” alakulnak ki, ami reprodukálhatóan növeli a tapadást. A megmunkálás időtartama fontos paraméter; a folyamat sebességével optimalizálható a kötés. Az eljárással harmonizáló sugárforrás lehetővé teszi a szokásos strukturálásnál megsokszorozott sebesség akár 50-szeres növelését, ezáltal a kötési szilárdság jelentős emelkedését.

A termikus szórás közben megolvadó és nagy kinetikus energiával a fémfelületbe becsapódó műanyag cseppek ugyancsak beleakaszkoznak a fém legkisebb egyenetlenségeibe, ezért igen nagy erővel tapadnak meg azon. A kötési szilárdságban fontos szerepe van az alkalmazott műanyag tulajdonságainak és a fémfelület struktúrformájának és sűrűségének. A legnagyobb kihívás az optimális hőmérséklet meghatározása, mert a magasabb hőmérséklet egyrészt növeli a tapadást, másrészt megindíthatja a műanyag bomlását.

Az átlapolással nyomás alatt összeépített próbatestek húzó-nyíró (kötési) szilárdsága függ a hőmérséklettől, a nyomástól és annak időtartamáról, továbbá az energiabevitel módjától. A hőközléssel kialakított műanyagkötéseknél minden esetben megfelelő hőmérsékletprogramot kell alkalmazni a műanyag plasztikálására. Az 1/A ábrán látható, hogy milyen szűk az a hőmérséklet-tartomány, amelyben nagyon erős kötés érhető el. Ebben a tartományban a polimernek kicsi a viszkozitása és tökéletesen be tud hatolni a fémfelület legkisebb strukturális elemeibe is. A tapadás erőssége a fémfelület strukturálás sűrűségével (a strukturált és nem strukturált felület százalékos arányával) is szabályozható (1/B ábra).



1. ábra Átlapolással összeépített 1.4301-es acél és poli(butilén-tereftalát) (PBT) próbatesteken húzó-nyíró vizsgálatokor mért maximális húzóerők az összeillesztési hőmérséklet függvényében (A kép), ill. ugyanilyen acéllal összeépített polikarbonát (PC) és poliamid 66 (PA66) próbatesteken mért maximális húzóerők a felületi strukturálás sűrűségének függvényében (B kép)

A formazárás (Formschluss – két anyag közvetlen érintkezése révén létesülő, legtöbbször bontható kötés; ilyen pl. a bepattintó kötés, a szegecselés, a csavarozás,) és az anyagzárás (Stoffschluss – két olyan anyag közvetlen érintkezése révén létesülő, általában nem bontható kötés, amelyek között atomok vagy molekulák reakciói révén kapcsolatok létesülhetnek; ilyen a forrasztás, a hegesztés, a ragasztás, a vulkanizálás) kombinációjával olyan nagy húzó-nyíró szilárdság érhető el, amely megközelíti a műanyagok saját szilárdságát.

Fémfelületek termikus szórásával olyan anyagokat is lehet kombinálni, amelyek előkezelés nélkül nem volnának egyesíthetők, előkezelés után viszont lézervilágítással jól kötődnek egymáshoz. A fém szórás előtti előmelegítésének időtartama befolyásolta a kötés szilárdságát. Ha az előmelegítés időtartamát 0 s-ról 2 s-ra növelték, az átlapolt próbatestek húzó-nyíró szilárdsága 80%-kal nőtt.

## Fröccsöntött formadarabokba integrált ragasztási funkció

A svájci anyagtechnikai és műanyag-feldolgozási intézet (IKW, **Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung**, Rapperswil) a ragasztásnak egy egészen sajátos módját fejlesztette ki: fröccsöntéskor a fröccsöntött darabra olyan ragasztókomponenst visznek fel, amely később bármikor („kívánság szerint” – „on demand”) aktiválható és külön munkaművelet (ragasztófelhordás) nélkül elvégezhető a ragasztás, felragasztható pl. egy nyomógomb a mögötte levő ellendarabra. Ilyen jellegű „szerelést” az autógyártásban eddig is alkalmaztak mindkét oldalán ragasztóréteget hordozó szalagok segítségével, de a ragasztószalagot a fröccsöntés után kellett a formadarabra felvinni. Az ilyen kötések csak ritkán bonthatók, és csak kétdimenziós formákon alkalmazhatók.

Az új eljárás lényege, hogy a formadarab alapanyaga mellett a kétkomponensű fröccsöntés elve szerint második komponensként egy *ömlédekragasztóként is funkcionáló polimert visznek be a fröccsszerszámba*, amely a későbbi felmelegítés céljából fémrészecskéket vagy fémbetéteket tartalmaz. Fröccsöntés után a majdani ragasztó egyszerű polimerként viselkedik, a ragasztóréteget tartalmazó formadarab a szokásos módon tárolható, szállítható. A gyártószerszámot azonban tapadásgátló bevonattal kell ellátni, hogy a fröccsöntött termék könnyen kivehető legyen a fészekből.

A ragasztás előtt a formadarab ragasztós felületét összenyomják a ragasztandó ellendarabbal, majd rövid időre váltakozó elektromágneses tér hatásának teszik ki. A ragasztóban lévő fémdarabok felmelegszenek, megolvasztják a ragasztóréteget, amely behatol az ellendarab felületének egyenetlenségeibe. A nyomás alatt kihűtött két darab között erős ragasztási szilárdság alakul ki.

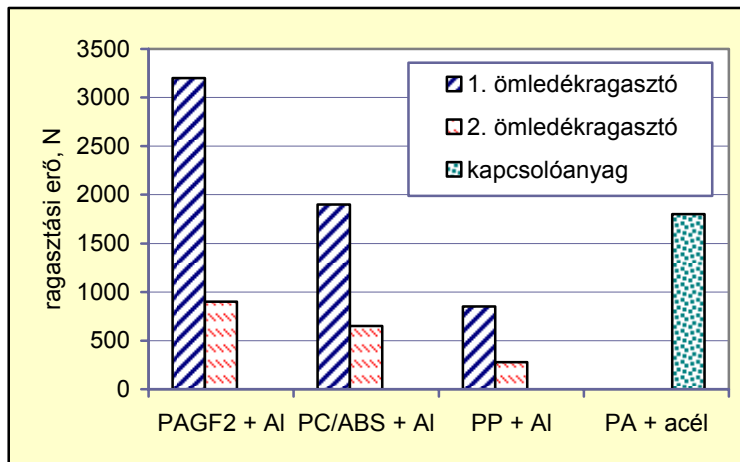
A felmelegítéshez különböző anyagú, formájú és méretű fémbetéteket próbáltak ki. Acélból, alumíniumból, rézből készített rács, perforált lemez alkalmazásakor a 20 kHz-es közepes frekvenciatartományban már 1 kW névleges teljesítményű generátorral tudtak dolgozni. Készítettek ragasztókeverékeket fém töltőanyagokkal (porral, szákkal, nanorészecskékkal), ilyenkor külön betétre nem volt szükség, a ragasztást a 100–700 kHz-es nagyfrekvenciás tartományban 3,5–12 kW névleges teljesítménnyel lehetett kivitelezni. A kísérletekben használt 30 mm átmérőjű ragasztási felületen kb. 10 s energiaközlés után nagy ragasztási szilárdságot értek el. Háromféle ragasztóanyaggal, többféle polimerrel alumíniumon, ill. rozsdamentes acélon a 2. ábrán látható ragasztási erőket mérték.

Az összeragasztott elemek elektromos térben felmelegítve ismét szétválaszthatók. A kísérletek azt igazolták, hogy ehhez hasonló paramétereket kell alkalmazni, mint a ragasztáshoz. Arra azonban számítani kell, hogy mindkét felületen vékony ragasztóréteg marad vissza.

A kidolgozott új technológia előnyei:

- a gyártási és logisztikai lépések csökkenése,
- a gyártott darab kezelésének egyszerűsége,
- a ragasztandó felület geometriájának szabadsága,
- magas automatizálhatóság és reprodukálhatóság,

- rövid ragasztási idő (tetszés szerinti időpontban),
- szétszerelési lehetőség,
- nincs szükség kiegészítő berendezésre a ragasztás elvégzéséhez.



2. ábra  
Néhány kiválasztott töltőanyag-mentes anyagpárnál elért ragasztási erő különböző kofröccsöntött ragasztókkal

#### Hátrányai:

- az indukciós technika beruházása,
- az induktor és a ragasztandó felület geometriájának illeszkednie kell egymáshoz,
- korlátozott ragasztási szilárdság,
- kis sorozatok gyártásához nem alkalmas.

Alkalmazási területei a finommechanika legapróbb elemeitől az autógyártásig terjednek.

A kísérletek bebizonyították, hogy az ömledékragasztók kétkomponensű fröccsöntéssel felvihetők a formadarabra egy később elvégzendő ragasztás céljából. A kutatók most olyan érdeklődőket keresnek, amelyekkel kidolgozhatnák az eljárás ipari alkalmazását.

Összeállította: Pál Károlyné

Flock, D.; Haberstroh, E.: Starke Verbindung ungleicher Partner = Kunststoffe, 100. k. 11. sz. 2010. p. 60–63.

Mit integrierter Klebefunktion = K-Berater, 55. k. 7–8. sz. 2010. p. 33–35.