

Új eljárások fém-műanyag kötés létrehozására

Gyakran van szükség fém és hőre lágyuló műanyag alkatrészek összeerősítésére. Német kutatók a kevésbé termelékeny mechanikus kötések helyett a ragasztásnál termelékenyebb és környezetbarát, lézeres és plazmakezeléses megoldásokat fejlesztettek ki.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; mélyhúzás; fém-műanyag hibridek; PA; lézer; plazma.

A modern könnyűszerkezetes megoldások gyakran kívánják meg a fém és műanyag elemek kombinációját. Az ipari gyártási folyamatok hatékony eljárásokat igényelnek, amelyek összehangolják a felület előkészítését és az adott terhelési szinten még kellőképpen szilárd kötés kialakítását. A két teljesen eltérő felületi tulajdonságokkal rendelkező anyagpár biztonságos összeerősítése számos kihívást rejt magában. Ezek egyike a kötés tömítettsége, illetve az ennek hiányában a csatlakozó felületen esetenként fellépő korrózió.

HPCI eljárás lézeres felületkezeléssel

A drezdai Fraunhofer Intézet kutatói egy olyan új eljárást fejlesztettek ki, amely erős fém-műanyag kötések hoz létre ragasztóanyag alkalmazása nélkül. Az eljárás első lépéseként *lézersugárral strukturálják a csatlakoztatandó fémfelületet*, majd felmelegítik azt és rászorítják a műanyag alkatrész csatlakoztatandó felületét. A részlegesen megolvadó műanyag behatol a mikrostrukturált szerkezetbe, majd lehűlve néhány másodperc alatt szilárd kötést alkot.

Az új eljárás, amelyet angol elnevezésének rövidítése alapján HPCI (hő-nyomás-hűtés-integrálás) eljárásnak jelölnek, alkalmas komplex ragasztási technológiák helyettesítésére. A HPCI a kutatók sokéves ragasztás-technológiai tapasztalatait egyesíti a modern lézer-távírányítás technikájával.

Mivel a fémek és hőre lágyuló műanyagok nagyon eltérő fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek (olvadáspont, hőtágulás), nagyon fontos az összekötendő felületek közötti tapadás optimalása. Ezért a kutatók kifejlesztettek egy lézeres maratási eljárást, amely 100 µm mélységig strukturálja a fém felületét másodpercenként több mint 30 cm² felületen.

Egy pásztázó optika fókuszálja és vezérli a folyamatos nagy energiájú lézersugarat a fém alkatrész csatlakoztatandó felületén. A lézersugár megtisztítja a felületet az

esetlegesen rátapadt olajtól és más szennyeződésektől. Ebbe a felületbe később a műanyag képes lesz behatolni, és jó tapadást biztosítani. Ezáltal feleslegessé válik a fémfelület előzetes tisztítása oldószerekkel vagy marató fürdőbe mártással.

Maga a kötés kialakítási technológiája egyszerű: a fém alkatrész előre strukturált felületét a műanyaggal összepréselik, miközben a fémfelületet felmelegítik, ami a műanyag alkatrész csatlakozó részének részleges megolvadását eredményezi.

Annak érdekében, hogy a folyamatot ipari használatra alkalmassá tegyék, a kutatók egy moduláris szerkezetű csatlakoztató szorítófogót alakítottak ki, amelyet pl. a ponthegeztéseknél elterjedten alkalmazott megoldásokhoz hasonlóan robotkarra lehet szerelni.

Különösen fontos kihívást jelent az összekötendő fémfelületek egyenletes felmelegítése. Ezért az indukciós felmelegítés mellett egy lézersugaras felhevítési módszert is kifejlesztettek. A kétdimenziósan irányított lézersugár oszcillációja lehetővé teszi a sugár nagy sebességű mozgatását és irányítását, ami a felület dinamikus felmelegítését eredményezi, és kompenzálja a komponensek eltérő hővezető képessége okozta különbségeket.

A kutatók ipari partnerekkel közösen mutattak be egy terméket, amelyet az új eljárással gyártottak (1. ábra). Ennek során egy acélból hegesztett szerkezetet cseréltek le fémből és ún. szerves bádogból készült burkolatra, hogy bemutassák a többféle anyagból kialakított könnyű szerkezet előnyeit.



1. ábra Fém és szálerősítésű műanyag alkatrészek között kialakított kötés

A kutatócsoport eredményei bebizonyították, hogy a különböző anyagok, vagyis a fémek és műanyagok közvetlen összekötése gyors, jól kézben tartható és könnyen automatizálható folyamattal szilárd kötések hoz létre.

Egy másik hasonló projekt keretében az aacheni Fraunhofer Intézet munkatársai a japán Outokompu Niroshita cég 1,5 mm vastag, ultra nagy szilárdságú, ausztenites, MnCr rozsdamentes acélból (Niroshita H1000) készült rácsszerkezetére vittek fel 30% üvegszállal erősített műanyag lemezt *lézerbehatolásos hegesztéssel* gépkocsik akkumulátortartójához. A hegesztendő részeken lézerrel 30–100 µm szélességű hornyokat hoztak létre nagy sebességgel az acél felületén.

Ezzel a módszerrel helyettesítették a gépkocsi ajtajában a nagy szilárdságú acélból készült ütközéstől védő kereszttrudat egy kompozit szerkezettel, amelyet lézeres

behatolási hegesztéssel erősítettek az ajtó fémlemezéhez. E módszerrel elkerülhető a csavaros vagy szegecses kötésekre jellemző anyagkifáradás. A keresztrúd a DuPont cég *Vizilon TPC* márkanevű hőre lágyuló PA6 vagy PA66 üvegszálak kompozitjából készült, a Peugeot Citroen (PSA) konszernnel és a Faurecia és a Valeo beszállítókkal kialakított együttműködés keretében. A lézeres felületkezelést a fém alkatrész indukciós felhevítésével kombinálták. Egy másik projekt, a *HyBriLight* keretében a Fraunhofer Intézet kutatói szénszállal erősített műanyagok és plazmakezelt fém alkatrészek összekötését igyekeztek megoldani.

Atmoszferikus plazmakezelés

Egy plazmatechnológiával és egy műanyag kompaundok gyártásával foglalkozó német cég együttműködése új technológia kifejlesztését eredményezte a fémek és hőre lágyuló műanyagok hatékony összeerősítése terén. A Plasmatreat GmbH már két évtizede kifejlesztette atmoszférikus plazmakezelési eljárását, amelyet sikerült olyan szintre hoznia, hogy az már alkalmas gyártósorokba történő integrálásra. Korábban csak vákuumkamrában lehetett fémfelületeket sikeresen előkezelni plazmával. A brémai Fraunhofer Intézet közreműködésével kifejlesztett és *PlasmaPlus* néven szabadalmaztatott eljárás lehetővé teszi, hogy a folyamatot normál üzemi atmoszférában is megvalósítsák.

A plazmakezelés feleslegessé teszi a ragasztóanyagok vagy az oldószertartalmú tapadásközvetítő és aktiváló anyagok használatát, ezért környezetbarát. A módszert először 2007-ben alkalmazták a TRW Automotive cégnél, ahol alkalmazásával egy alumíniumból készített üzemanyag-szivattyúház elemeit ragasztották össze. A plazmakezeléssel ellátott felületeken megszűnt a korábban tapasztalható korrózió. Erre a sikerre alapozva a Plasmatreat igyekezett eljárását, amely a ragasztási és lakkozási eljárásokban már elterjedt, más területekre is kiterjeszteni.

A fém és hőre lágyuló műanyag hibrid alkatrészek fröccsöntése a műanyag kompaundok gyártására specializálódott Akro-Plastic GmbH közreműködésével valósult meg. A piaci igények felmérését követően a fejlesztési munka során elsőként az autóiipari műszaki műanyagokra és ezen belül is az üvegszál-erősítésű poliamidra fókuszáltak. A céljuk egy olyan technológia kidolgozása volt, amely megbízhatóan és ergonomikusan működik, szagtalan és környezetbarát.

Az eljárás során olyan határfelületet alakítottak ki a két nagyon eltérő tulajdonságú fém/műanyag anyagpár között, amely biztosítja a nagy szilárdságú tapadást és a tömítettség révén a korrózióállóságot is. A fémfelületen kialakított határfelületi réteg molekuláris szinten kötődik és szilárdan tapad a ráfröccsöntött műanyaghoz. A réteg létrehozásakor *a plazmaáramba szerves szilíciumvegyületeket juttattak be*, amelyek prekursorokként működnek. A nagy energiájú plazma hatására ennek kötése felbomlik és a fémfelületen egy üvegszerű bevonat alakul ki. Ennek kémiai tulajdonságai az adott alkalmazástól függően változtathatók, hogy a különböző anyagoknak és igénybevételeknek optimálisan megfeleljenek. Az eljárás nagyon rugalmas, a rétegszilárdság és a folyamat sebessége a kívánt korrózióvédelemhez igazítható.

Más rétegekialakító eljárásokhoz képest további előny, hogy a tapadóréteg kialakításához a plazmát egy fúvókán keresztül juttatják a fémfelületre, ezért milliméteres pontossággal, szelektíven lehet a felületkezelést a szükséges területekre korlátozni, és mindezt igen nagy sebességgel. Például egy 100 Nm vastagságú réteg ezredmásodpercek alatt hozható létre, míg a vákuumkamrás eljárásnál ez 1–2 percet vesz igénybe, és a teljes felület bevonódik.

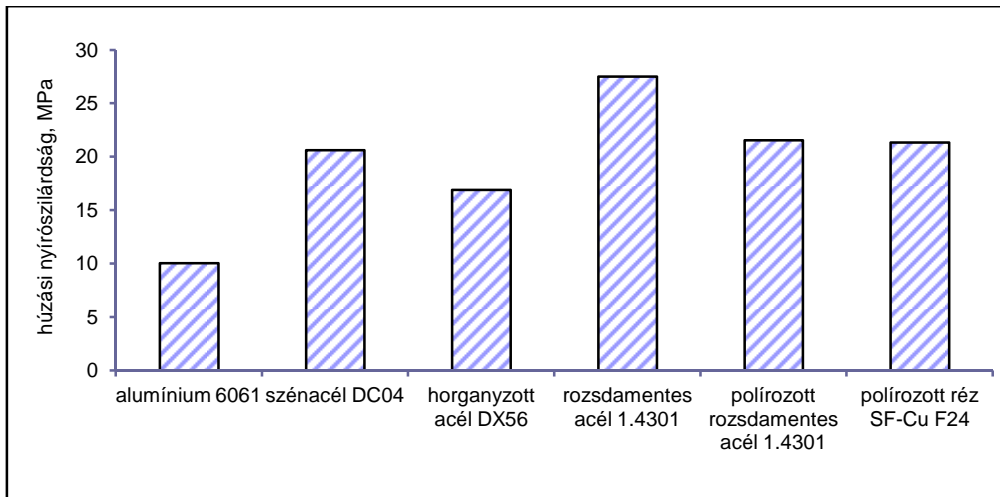
A prekursorok alkalmazásával és a plazma paramétereinek változtatásával a fedőrétegbe többféle funkció is beépíthető. Így például a fém alkatrész felületéhez jól tapad a réteg, valamint megnövekszik a korrózióállóság azáltal, hogy a réteg erős akadályt képez a korrozív közegek és a levegő oxigénjének behatolásával szemben, és a felületi funkcionális csoportok létrehozásával nő a tapadásközvetítő hatás a ráfröccsöntött műanyagokhoz. A szilícium biztosítja a jó tapadást a fémekhez és fém-oxidokhoz, a szilícium-oxid jó záróhatást eredményez a korrozív közegekkel szemben, a bevonatra kötődő szerves funkcionális csoportok pedig jól tapadnak a polimerekhez.

A különböző alkatrészekkel a felhasználási cél függvényében kialakítható a mechanikus, elektromos, éghetőségi stb. tulajdonságok kívánt együttese, és ezek kiegészíthetők olyan általános jellemzőkkel, mint a kis sűrűség vagy a csekély nedvességfelvétel. A polimermátrix jellemzői különböző adalékok, pl. töltő- és erősítőanyagok bekeverésével módosíthatók. A felhasználók számára fontos az adalékolt alapanyagok termékminőségének megbízható, jó reprodukálhatósága.

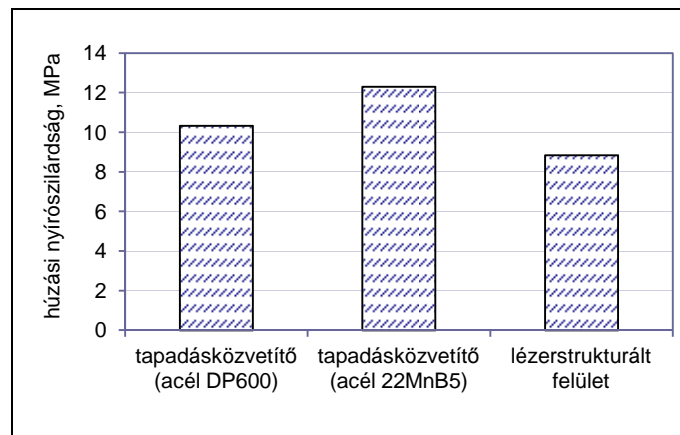


2. ábra A nyírószilárdság meghatározásához használt húzóvizsgálatokhoz alkalmazott (elszakított) próbatest

Az atmoszferikus plazmakezelés hatásának vizsgálatához üvegszál-erősítésű poliamidot (PA6GF30) alkalmaztak különféle fémekkel (alumínium, szénacél, rozsdamentes acél és réz) kombinálva. A tapadási szilárdság és a korrózióállóság ellenőrzésére mintegy 1500 fém/műanyag próbatestet (2. ábra) alkalmaztak. Már a kísérletsorozat elején megállapították, hogy a plazmakezelt fémfelületre ráfröccsöntött műanyag üvegszál tartalmának egy része lehorgonyzódik a kialakított határrétegben. A technológiai paraméterek szisztematikus változtatásával sikerült optimalni a különböző fémek tapadását a műanyaghoz (3. ábra). Az alumínium és a horganyozott acél esetében egyes törésképet kaptak, a többinél a kohéziós szakadás meghaladta a 20 MPa-t, és a húzószilárdság nagyobb volt, mint 80 MPa (a rozsdamentes acélnál 27 MPa, illetve 85 MPa). Ez lényegesen jobb, mint a drezdai kutatóintézetben a hagyományos módszerekkel, azaz egy térhálós ragasztóréteggel, illetve lézersugaras felületkezeléssel kapott, üvegszálal poliamidra és acélra vonatkozó szilárdsági eredmények (4. ábra).



3. ábra A plazmakezelés hatására a fröccsöntött hibrid próbatestek nagy tapadási szilárdságot mutatnak



4. ábra Tapadásközvetítő anyaggal bevont acél és lézersugárral strukturált felületű acél/ üvegszál-erősítésű poliamid húzási nyírószilárdsága

Ha a fém/műanyag kötési felületére agresszív közegek képesek behatolni, a fém korróziója következtében a hibrid alkatrészek szilárdsága idővel erősen leromlik, esetenként leválás is létrejöhet. A *PlasmaPlus* kezelés azonban megakadályozza az agresszív közegek behatolását. Az eddigi vizsgálatok szerint ez a hatás jól kimutatható víz, sóoldatok és gázok esetében, az olajra és más közegekre vonatkozó mérések még folyamatban vannak, de az előzetes eredmények biztatóak.

A 2016-os düsseldorfi kiállításon a Plasmatreat egy rozsdamentes acél és 30% üvegszállal erősített PA6 kombinációjával kialakított ruhaakasztó fröccsöntését mutatta be. A gyártócella a cég *PT1200* plazmakezelő berendezését tartalmazta, kiegészítve egy Arburg fröccsöntő géppel. A fröccsszerszámot a Krallmann, a két soktengelyű robotot a Kuka cég készítette, a poliamidkompozitot az Akro-Plastics állította elő. A plazmát két lépésben, atmoszferikus körülmények között, egy-egy fúvóka segítségével

alkalmazták. Az első lépésben a plazma megtisztította a fémfelület hegesztendő részét és aktiválta a felületet. A második lépésben a *PlasmaPlus* eljárással alakították ki a speciális, korrózióálló bevonatot. Ezután az egyik robot a fém alkatrészt egy szállítószalagra helyezte, amelyről a másik robot rövid indukciós felhevítést követően behelyezte azt a fröccsöntő szerszámba, amelynek összezárása után ráfröccsöntötték a műanyagot.

Mélyhúzás és fröccsöntés kombinációja

A K2016 kiállításon egy másfajta fém/műanyag feldolgozási kombinációt is bemutatottak. A fröccsöntő gépeket gyártó Wittmann Battenfeld cég standján fémpoharakat alakítottak végleges formátumúakká mélyhúzással egy speciális fröccsszerszámban, miközben műanyag részeket is fröccsöntöttek rá. Az eljárást az aacheni RWTH Egyetem IKV Intézete fejlesztette ki az *IGF 17085N* projekt keretében a Dortmundi Egyetem ILU intézetével együttműködve.

Az eljárásnál max. 2 mm vastag fémlemez mélyhúzását végzik el egy speciális, a Hermann Rausch cég által készített fröccsöntő szerszámban, amely megtartja az alaplamezt és kistancolja belőle a kívánt kiindulási formát. A mélyhúzott fém alkatrészre ezután ráfröccsöntik a poliamid (PA6) részeket. A fröccsöntés során ezen felül további mélyhúzás megy végbe, mivel az 500–1600 bar nyomású műanyagömledék tovább alakítja a fémpoharat. Ennek során mind a pohár magassága, mind pedig térfogata megnőtt, továbbá olyan éles sarkokat is sikerült kialakítani, amelyek a normál mélyhúzással nem lennének lehetségesek.

Az Evonik cég tapadásközvetítő anyaga fontos szerepet játszott a fém-műanyag kötés szilárdságának növelésében. Az IKV szimulációs és terméktervező programja segítségével elkerülhetők voltak a belső feszültségek és az eltérő hőtágulási együtthatók miatt kialakuló vetemedés. A bemutatott 57 mm-es pohár mellett az IKV korábban már nyilvánosságra hozta az eljárás alkalmazhatóságát gépkocsik motorháztetője, B-oszlopai és kereszttrúdjai gyártásához. A projektben együttműködő partnerek: a Lanxess (PA), Hühoco Metaloberflächen Veredelung (felületkezelés) és a ThyssenKrupp (acél).

Noha az acéllemezeket nem kell felmelegíteni a mélyhúzás előtt, a magnéziumlemezeknél azonban ez szükséges. A fém/műanyag hibrid szerkezetek előállítói a gépkocsi-alkatrészek gyártásakor gyakran alkalmazzák az Evonik cég *Vestamelt* márkanevű, hőre térhálósodó kopoliamid tapadásjavítóját, közöttük pl. a Mercedes-Benz vagy az ElringKlinger.

Összeállította: Dr. Füzes László

Stoffschlüssiges Fügen von Metall und Thermoplast = www.kunststoffe.de, febr. 20. 2018.

Melamies I.A.: Ultrastark und mediendicht = *Kunststoffe*, 106. k. 6. sz. 2016. p. 28–32.

Vink D.: Alliances make plastic bond to metal = *Plastics News Europe*, 44. k. 2. sz. 2017. p. 24–25.