

## Kötések műanyag-fém hibridekben

A műanyag-fém hibridek ragasztásánál a felület előkészítésével jelentős mértékben lehet a kötéseerősséget befolyásolni. Az indukciós hegesztés ígéretes módszer a fém- és műanyagrészek összekapcsolására, de az eljárást még fejleszteni kell. Újabban a lézeres technológiák is megjelentek a fém-műanyag kötések létrehozására.

*Tárgyszavak: fém-műanyag hibrid; ragasztás; hegesztés; szénszálas műanyag; felületkezelés; lézeres technológiák; műszaki műanyagok.*

## Hibrid kompozit könnyűszerkezetek indukciós hegesztéssel

Manapság egyre gyakrabban használnak fémekből és szálerősített műanyagokból álló könnyűszerkezeteket. Az új szerkezeti anyagok mindig új konstrukciókat és megoldásokat hoztak, többek között az autó- és a repülőgépgyártás számára. A fém és a szálerősített műanyag kombinációjával készülő szerkezetekben csak akkor lehet kiküszöbölni a komponens anyagok hátrányait és kombinálni előnyeiket, ha sikerül megfelelő technológiát kidolgozni a különböző anyagok egymáshoz való rögzítésére. Ilyen eltérő komponensek esetében az egyik legkézenfekvőbb megoldás a *ragasztás*. Ha a szálerősítésű komponens műanyag alkotója hőre lágyuló, magát a műanyagmátrixot is lehet kötésre használni, ilyenkor *hegesztésről* beszélünk. A fém alkatrész hevíthető pl. indukciós módszerrel, majd a műanyag alkatrészt hozzányomják a felmelegedett fémfelülethez, hogy kialakuljon a kötés. Ilyenkor az érintkező felületek anyaga sokféle fizikai és kémiai változáson megy át. Az adhéziós mechanizmusnak fontos része, hogy a megolvadt műanyag behatol a fém alkatrész felületi egyenetlenségeibe, aminek fizikai, kémiai és termodinamikai okai vannak.

Ami a fizikai kölcsönhatásokat illeti, itt különböző dipólerők, diszperziós kölcsönhatások és hidrogénhidak alakulnak ki. Kémiai módszerekkel kötések képezhetők a kovalens kötésű polimerlánc és a fémfelület között. Az adhézió nagyságát befolyásolja a határfelületi energia, a nedvesíthetőség. *Az adhéziót jelentősen növelni lehet a felületek előkezelésével (1. táblázat).*

## A felületkezelés hatása

Annak érdekében, hogy legyen mihez hasonlítani az indukciós hegesztéssel előállított darabokat, korszerű ragasztóanyagokkal ragasztott és indukciósan hegesztett 1 mm vastag alumíniumötvözetből (AlMg3) és szénszálas PA 66-ból próbatesteket

állítottak elő. Az utóbbiban a 48 (%V/V) erősítőszál 2 mm vastag Atlasz 1/2 kötésű szövet formájában volt jelen. Az indukciós hegesztés során a fémkomponensben örvényáramokat keltenek, amely a fém ellenállása és a hiszterézis miatt melegíti a fémdarabot. A felmelegített fémdarabot hozzányomják a műanyag alkatrészhez, amely a felületén megolvad, és a nyomás hatására behatol a fémdarab felületi egyenetlenségeibe, ezért lehűtés után tartós kötést eredményez. A ragasztott kötéseknel kémiai reakcióval térhálósodó viszkózus gyantákról van szó, amelyek hő hatására, vagy esetleg szobahőmérsékleten kémiai hatásra (pl. légnedvesség hatására) reagálnak és képeznek szilárd ragasztóréteget. Ragasztóként az autóiparban használt, egykomponensű, melegen (170–180 °C-on) térhálósodó epoxiragasztót használtak.

1. táblázat

Különböző felületkezelési módszerek hatása ragasztás vagy hegesztés előtt

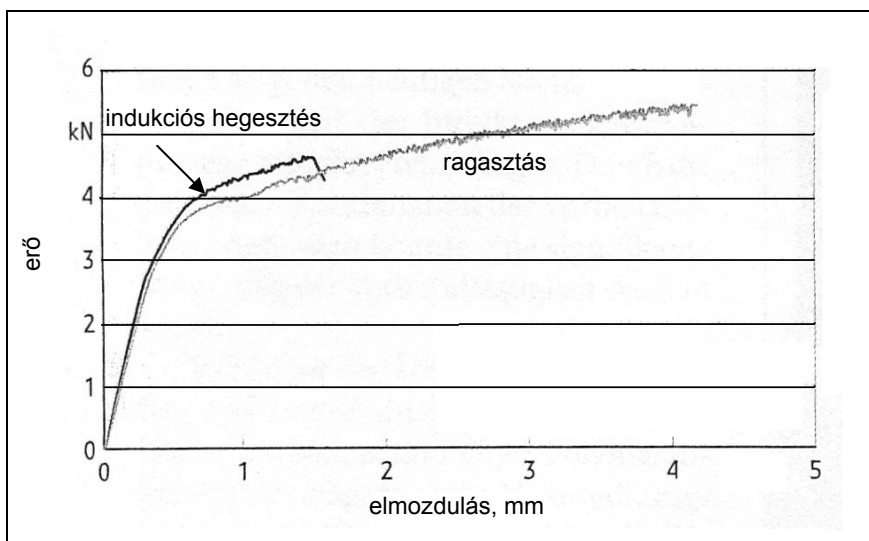
Módszer	Kezelés	Hatás
Tisztítás, zsírintesítés	– mosás oldószerrel, pl. acetonnal	– a felületek tisztítása
Mechanikai előkezelés	– csiszolás – homokszórás – polírozás	– a felület geometriájának megváltoztatása (érdesség) – szennyezőrétegek eltávolítása
Vegyis előkezelés	– maratás – savas pácolás	– a felület kémiai szerkezetének megváltoztatása (pl. oxidáció)
Fizikai előkezelés	– plazmatisztítás	– a felület tisztítása – aktiválás vagy funkciócsoportok létrehozása

A fém alkatrészt különböző előkezeléseknek vetették alá:

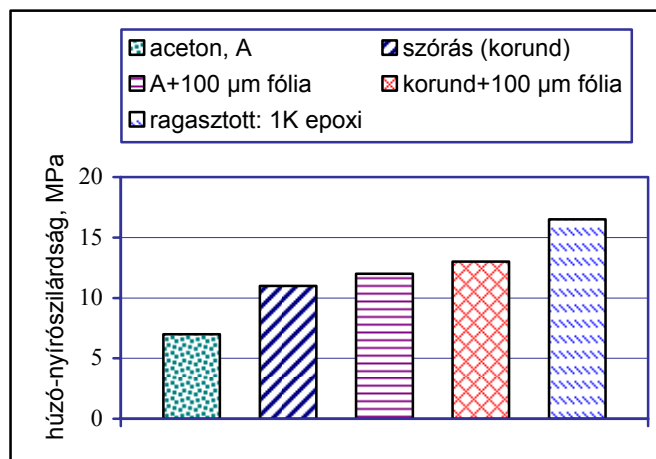
- tisztítás acetonnal (3 perc ultrahangfürdőben),
- porszórás nemeskorunddal (150-200 µm szemcseátmérő),
- alkalikus pácolás (1M NaOH, 15 perc),
- savas pácolás (koncentrált HNO<sub>3</sub>, 15 perc),

A ragasztáshoz csak az alkalikus pácolást használták előkezelésként. A műanyag alkatrészt minden esetben acetonnal tisztították. A ragasztandó felületeket ragasztás vagy hegesztés előtt lézeres profilometriával és pásztázó elektronmikroszkópiával vizsgálták, és megállapították a felületi érdességet ( $R_a$ ). A korunddal szórt felületen például egy  $\pm 10$  µm skála szükséges a mért felületi egyenetlenségek ábrázolásához. A ragasztott kötést a DIN EN 1465 szerinti átlapoló geometriával készítették el. A ragasztott kötés szilárdságát szakítóvizsgálattal állapították meg (1. ábra). Az átlagos törőerőt az átlapolás felületével osztották, és így tulajdonképpen a nyírószilárdságot kapták meg. A 2. ábrán látható, hogy a mai technikával mit lehet elérni az indukciós hegesztéssel. Az egyszerű acetonos tisztításhoz képest a korundos szemcse-szórás majdnem megduplázza a szilárdságot. A ragasztott próbatest csak mintegy 20%-kal haladja meg az indukciósan hegesztett mintáét. A törési felületek elektronmikroszkópos vizs-

gálata további információt ad a kötési mechanizmusról. Az indukciósan hegesztett mintáknál alig van műanyag- vagy szénszálmaradék a fémlemezen, ami arra utal, hogy a tönkremenetel módja adhezív és nem kohezív (vagyis a törés a határfelületen történik, nem a ragasztórétegben). Ez arra utal, hogy a határfelületi kötés szilárdsága nem éri el a műanyag réteg szilárdságát. (Ez részben az átlapoló próbatestnél fellépő nagy lefejtési erőknek köszönhető). Ugyanakkor a ragasztott próbatestek esetében a kohezív tönkremenetel dominál. Ebből arra lehet következtetni, hogy *az indukciós hegesztés ígéretes, de még továbbfejlesztendő módszer az erősített hőre lágyuló műanyag- és a fém alkatrészek kötésénél*. A továbbfejlesztés (pl. a hegesztési paraméterek – nyomás, hőmérséklet, idő – optimalizálásával) annál is indokoltabb, mert a hegesztett próbatestek végső szilárdságukat szinte a kezelés után azonnal elérik, a ragasztóréteg kikeményítése pedig hosszabb időt igényel.



1. ábra Erő-elmozdulás diagram az indukciósan hegesztett, ill. ragasztott próbatesteken



2. ábra Előkezelés hatása az indukciósan hegesztett próbatestek húzó-nyíró szilárdságára, összehasonlítva a ragasztott próbatestekkel

## Műanyagok és fémek, valamint kerámiák összekötése lézeres technológiával

Annak ellenére, hogy a műanyagok egyre több helyen és egyre több funkcióban képesek a fémeket helyettesíteni, bizonyos alkatrészeket a precíz megmunkálás vagy a keménység miatt továbbra is fémből készítenek. Éppen ezért nagy igény van gyors és precíz kötési módszerekre műanyagok és fémek között. Ehhez kívánt hozzájárulni a lézertechnikával foglalkozó **Fraunhofer Intézet**, amely új, átvilágításos rögzítéstechnikát fejlesztett ki. A műanyagok és a fémek nem mindig versenytársai egymásnak, sőt az ún. hibridszerkezetekben kiegészítik egymás előnyös tulajdonságait. A két anyag rendkívül eltérő lágyulási hőmérséklete miatt a hagyományos hegesztés nem alkalmazható, hiszen mire a fém megolvad, a műanyag már degradálódik vagy elpárolog.

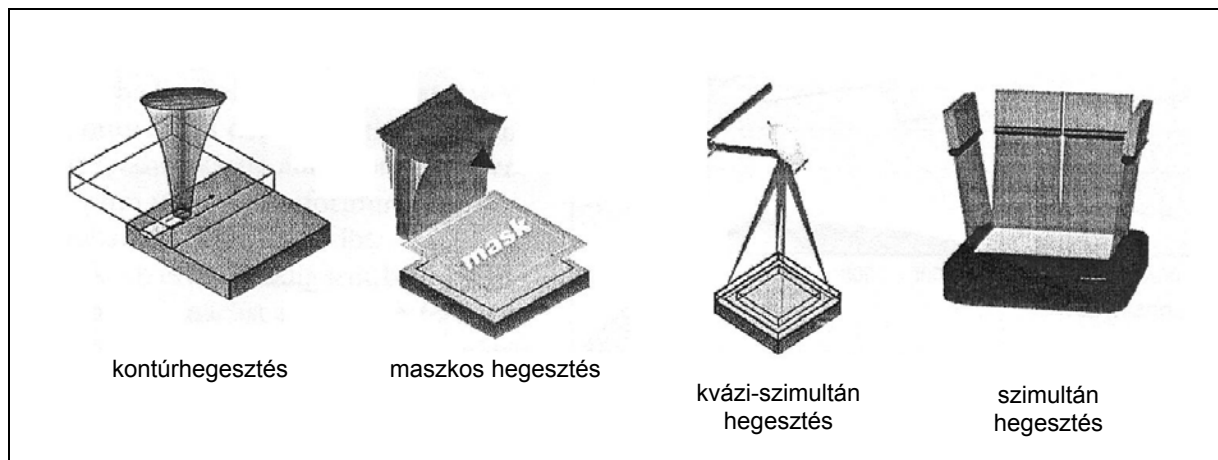
A hibridszerkezeteknél alkalmazzák az ún. *insert (betétes) és outsert-technikákat*, ahol a kötés fröccsöntés útján jön létre. A betétes fröccsöntésnél pl. csavarmenet építhető be a darabba, az outsert technológiánál pedig a fém szokott a teherhordó elem lenni, a műanyag pedig a funkcionális alkatrész. Ezzel kiküszöbölhetők a szerelési lépések. A tervezési szabadságot némileg korlátozza, hogy a fém alkatrészeket behelyező egységet és magát a kész darabot is ki kell tudni venni a szerszámból. Vannak olyan esetek, amikor a műanyag és a fém alkatrészt külön kell előállítani és utólag kell összeerősíteni. Erre több lehetőség is rendelkezésre áll: ragasztás, csavározás, bepattanó kötés, de lehet szegecset vagy peremezést is használni.

A szegecselésnél a szegecs esetenként műanyagból van, amelynek végleges alakját olvasztással alakítják ki. Ez történhet hővezetéssel, forró levegővel, hőszigeteléssel vagy ultrahanggal. A felmelegített szegecs rögzítő fejrészét egy alakadó szerszámmal alakítják ki. Ultrahangos hegesztésnél az alakító szerszám a szonotróda részét képezi. A rögzítendő alkatrész másik felének furatot kell tartalmazni, amely a szegecselő pálcát magába fogadja. Ez azt jelenti, hogy az összekötendő alkatrészeket úgy kell pozicionálni, hogy a szegecselő pálcát kivehető legyen. Ez például szorosan illeszkedő kötés kialakítását nem teszi lehetővé. A karmantyús kötésnél a lemezbe furatot fúrnak, majd egy nagyobb átmérőjű betétet nyomnak bele, aminek hatására létrejön a karmantyú és belenyomódik a műanyagba.

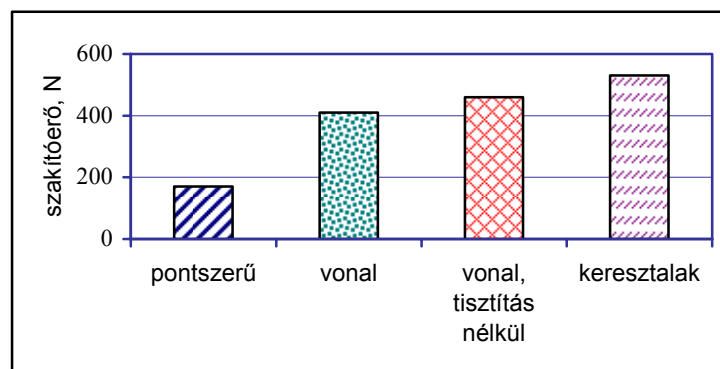
### *Kötés kialakítása lézeres átvilágítással*

Ennél a kötésmódnál a műnyagon keresztül juttatják el a sugárzást a kötés helyére – ezért annak megfelelően átlátszónak kell lennie. A lézersugarat a fém nyeli el és hővé alakítja, ez pedig felmelegíti a műanyagot. Ahhoz, hogy megfelelő kötés alakuljon ki, a műanyag és a fém alkatrésznek szorosan kell csatlakoznia. Ez az energiaátviteli mód csökkenti a rögzítendő elemek termikus károsodását. Nem alakulnak ki mechanikai terhelések, mert a kötendő alkatrészek nem mozdulnak el egymáshoz képest. További előnyt jelent, hogy nincs gáz, füst vagy porképződés. Lézerforrásként használhatók diódlézerek vagy Nd:YAG lézerek. A hegesztés elvét a 3. ábra mutatja.

A nagy teljesítményű diódalézerek viszonylag alacsony beruházási és működtetési költségeik, valamint kis helyigényük miatt ajánlhatók a kontúrhegesztésre, a szimultán hegesztésre és a maszkos hegesztésre.



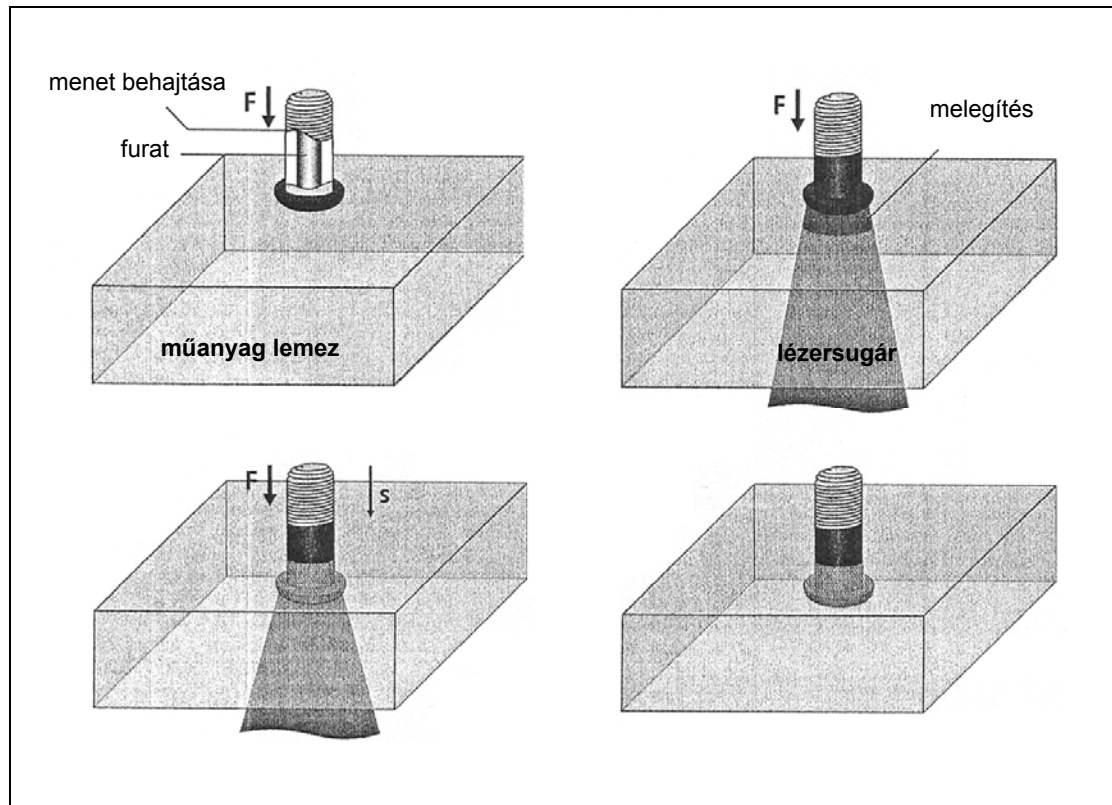
3. ábra Lézerátvilágításos hegesztés műanyag és fém alkatrészek rögzítésére



4. ábra Polikarbonát/acél próbatestek szakítóereje a varrat alakja függvényében (lézerteljesítmény 60 W, előtolás: 400 mm/min)

A kötés szilárdságát megfelelő felületkezeléssel, a hegesztendő darabok megfelelő előkészítésével lehet növelni. Ilyen előkezelés lehet pl. a fém alkatrészek lézeres felületdurvítása. A durvított felület nagyobb fajlagos felületet jelent, amibe a műanyag befolyva mechanikai rögzítést érhet el – feltéve, hogy a felmelegített műanyag viszkozitása elég kicsi és nedvesíti a fémet. Az sem mindegy hogy a lézeres strukturálást pontszerűen, lineárisan, vagy kereszttrácsozattal alakítják ki. A lézeres strukturálás nemcsak a fajlagos felületet növeli, hanem akár 50%-kal javítja a lézersugár elnyelését is a 800–1000 nm tartományban. Az alkalmazott diódalézer 940 nm-n működik, maximális teljesítménye 75 W, a sugár átmérője kb. 1,2 mm. A lézersugár és a hegesztendő tárgy egymáshoz képest való elmozdulását egy három tengely mentén mozgató rendszer biztosítja. A hegesztési nyomást pneumatikusan működtetett befogószerkezet

biztosítja. 15 mm varrathossznál kb. 500 N szakítóerőt lehet elérni. A hegesztési varrat alakja is befolyásolja a szakítóerő nagyságát (4. ábra). A pontszerű hegesztés elég gyenge eredményt ad, de a lineáris alakzatok használható kötést biztosítanak. A hegesztési kötésből készült keresztmetszetek csiszolatának fénymikroszkópos vizsgálata sokat elárul a kötés jóságáról és szerkezetéről. Jól látható, hogy a műanyag kitölti a lézeres strukturálással kialakított vonalakat.



5. ábra Az új lézeres hegesztési eljárás vázlatja

## Műanyagok és fémek, valamint kerámiák kötése LIFTEC-technológiával

A LIFTEC (Laser Induced Fusion Technology = lézerrel kiváltott olvasztási technológia) segítségével minden átlátszó, vagy legalább áttetsző műanyag hegeszthető. A lézerfény egy átlátszó zafír vagy kvarcüveg lemezen keresztül jut el a hegesztendő felületre, áthatol a műanyagban, majd végül elnyelődik a fém vagy kerámia alkatrészben, amit hozzá akarnak hegeszteni a műanyaghoz. Ezzel a megoldással még egy zárt alakító szerszámban is lehetséges a szelektív felmelegítés. A hegesztés menetét vázlatosan az 5. ábra mutatja. A hegesztendő tárgyat rányomják a műanyag felületre (pl. az 5. ábrán csavarással). Ezt követően lézeres megvilágítással felmelegítik az érintkező felületet, majd további mechanikus nyomással belenyomják a fémfelületet a műanyagba. Megfelelően kialakított kötésgeometriánál lehűlés után alakzáró kötés alakul ki. Ez lehet egy vastagodás, amelyet a műanyag körülfolyik, lehet egy horony,

vagy furat, amelyen a műanyag átfolyik, és úgy alakítja ki az alakzáró kötést. Ha el akarják kerülni a fölös műanyag kiömlése által okozott sorjákat, akkor gondoskodni kell olyan üregekről, ahová a fölösleges műanyag befolyhat – pl. furatok készítésével.

Olyan ellendarabot kell kiválasztani, amelynek termikus stabilitása lényegesen jobb a műanyagénál, hiszen rövid időre olyan hőmérsékletre hevül, amely felette van a műanyag lágyulási hőmérsékletének. Elsősorban fémekről és kerámiákról van szó, bár nagy hőállóságú műanyagok (pl. Teflon) is alkalmazhatók. Ha a műanyag nem, vagy nem eléggé átlátszó, a műanyagban keresztüli megvilágítás helyett oldalirányú megvilágítást is lehet alkalmazni. A leglényegesebb feldolgozási paraméter az a hőmérséklet, amelyre a hőálló komponens felmelegítik. Ha ez a hőmérséklet túl magas, buborék képződik a határfelületen és a műanyag elszíneződhet. Ha túl alacsony, feszültségek lépnek fel és repedések képződhetnek a műanyagban, vagy a hőstabil komponens deformálódhat. A lézeres megvilágítás pl. az indukciós hevítéssel szemben gyakorlatilag független a melegítendő anyag hő- és villamos vezetőképességétől, tehát használható pl. kerámiák hegesztésére. Ezzel a módszerrel nagy szilárdságú, nagy kopásállóságú hibrid alkatrészek készíthetők.

A lézersugár koncentráltan továbbítja az energiát, ezért a melegítés jól lokalizálható a hegesztendő felületekre. Ha a melegített felület hőmérsékletét pirométerrel méri, az szabályozható és hozzáigazítható az adott feladat igényeihez. Ezzel a módszerrel feszültség- és károsodásmentes hegesztett darabokat lehet készíteni.

## **Alkalmazási lehetőségek**

A műanyagok jól alakíthatók és nagyfokú tervezési szabadságot biztosítanak. A kis sűrűség és a jó vegyszerállóság ugyancsak magyarázza ezeknek az anyagoknak a széles körű elterjedését. A fémek és kerámiák viszont a műanyagoknál nagyobb szilárdságukkal tűnnek ki, tehát a két anyag kombinációja jelentős előnyökkel járhat.

Néhány lehetséges alkalmazást az alábbiakban sorolunk fel:

- műanyag lencsék összehegesztése a kerettel, ami nemcsak a biztonságot növeli, hanem új tervezési lehetőségeket is nyújt; a hegesztést maga az optikus is elvégezheti, és bizonyos szerelési és előkészítési műveletek elhagyhatók,
- műanyag ablakok vagy homlokzati elemek összehegesztése fémkerettel, szilárd, ugyanakkor jól záró kötésekkel,
- mobiltelefonok – gyakran terhelt alkatrészek műanyagból fémre cserélhetők, ami növeli az élettartamot,
- műanyagtermékek fémbetétekkel való erősítése – nagyobb terhelhetőség, hosszabb élettartam.

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

Velthuis, R.: Leichtbau aus Metall und Faser-Kunststoff-Verbunden. = Kunststoffe, 97. k. 11. sz. 2007. p. 52–55.

Holtkamp, J.: Wie geschweisst. = Kunststoffe, 98. k. 2. sz. 2008. p. 25–29.