

Fém-műanyag hibridek és kötéseik

A fémből és műanyagból álló hibrid alkatrészeket egyre szívesebben alkalmazza az autópár, aminek csak egyik oka az elérhető tömegcsökkenés. A termékeket többféle technológiával, egyre olcsóbban tudják előállítani. A cikkben sorra vesszük a fém és a műanyag közti megbízható kapcsolat létrehozásának lehetőségeit.

*Tárgyszavak: fém-műanyag hibridek; tömegcsökkentés; autópár;
műszaki műanyagok; szerves bádog; ragasztás; hegesztés; lézer.*

Hibrid alkatrészek az autópárban

A hibrid technológia a műanyagok jó feldolgozhatóságát kombinálja az acél vagy az alumínium szilárdságával. A fémeknek nagy modulusuk, szilárdságuk van és képlékenyen alakíthatóak. Műanyagkomponensként (legalábbis az autópárban) szívesen választanak poliamidokat (pl. PA6-ot) annak jó dinamikus jellemzői miatt és azért, mert mind melegen, mind hidegen jó az ütészállóságuk. *A hibrid alkatrészeket egyetlen műveletben állítják elő.* Általában átlapolva több vékony mélyhúzott fémlapozt helyeznek el a fröccsszerszámban, és azokat poliamidbordázattal erősítik meg. Ezt nevezik *IMA módszernek* (in-mold-assembly, szerszámon belüli szerelés). Az erő- és alakzáró kapcsolat biztosítását szolgálják az áttörések és a körülöntések. Emellett célzottan állíthatók elő szilárdító- és vezetőelemek, különböző funkciók integrálhatók egyetlen elembe. Mindez hozzájárul a költségek csökkentéséhez. Szemben az öntött könnyűfém, az *SMC* (rövid szállal erősített hőre keményedő poliészter: prepreg) és a *GMT* (hosszú szállal erősített hőre lágyuló műanyag lemez) komponensekkel *a hibrid alkatrészeknek nincs szükségük utólagos megmunkálásra.* Annak ellenére, hogy kétféle feldolgozási technikát kombinálnak (fémek mélyhúzása és fröccsöntés) a feldolgozás biztonságos: nagyobb alkatrészek gyártásakor is 1% alatti a selejt.

Közel 40%-os tömegcsökkentés

A hibrid technológia egyik első nagy sorozatú alkalmazása a gépkocsik egy karosszériaeleme volt, az ún. „frontend” modulok gyártása. Az elmúlt években közel 40 millió ilyen alkatrész készült acéllemezből és *Durethan BKV 30 H2.0*-ból, amely a **Lanxess** cég üvegszál-erősítésű PA6 típusa. 2008-ban mintegy 70 különféle gépkocsiban használták ezt a megoldást. Szinte minden nagyobb gyártó ilyen alkatrészeket vezetett be mind kis, mind nagy sorozatú termékeinél.

A Lanxess, amely ennek a technológiának feltalálója és úttörője volt, időközben tovább szélesítette az alkalmazásokat: személygépkocsikba tetőmerevítést, kis tehergépkocsikba fékpedálokat állítottak elő acél-Durethan BKV 30 H2.0 hibridekből. Az új alkatrészek terhelhetősége nagyobb, mint az acél alkatrészé, a tömeg mintegy 40%-kal csökkent, a költségek pedig kb. 20%-kal kisebbek. Amikor egy pedáltartó modul készítették hibrid alkatrészből, *a tiszta műanyag elemhez képest 10%-kal csökkent a tömeg*, és balesetben is biztonságosabbnak bizonyult a plasztikus deformáció miatt.

A hibrid első ütközőmodulok gyártásánál acéllemez helyett alumínium is használható (pl. az Audi TT-ben), ami az acélhoz képest további 15%-os tömegcsökkenést jelent. Várható, hogy az alumíniumalapú ütközőmodulok éppen ezért még jobban el fognak terjedni. Sok ilyen alkalmazásban a jól folyó PA6 típusokat használják, hogy a konstrukciós lehetőségeket jobban ki lehessen használni, amivel a gyártási költségek is csökkenthetők. Ha nagy szilárdságra van szükség, akkor az üvegszállal erősített PA típusok kerülnek előtérbe.

További megoldások hibrid szerkezetekkel

Az eddigi alkalmazásokból is az derült ki, hogy a hibrid alkatrészek nagy tömegcsökkentési lehetőségeket tartogatnak. Éppen ezért az autógyártók mostanában szisztematikusan vizsgálják – különösen a nagyobb alkatrészek esetében – a hibridtechnológia bevezetésének újabb lehetőségeit. Bevezetés előtt állnak olyan első ütközők (frontend modulok), amelyekbe gyalogosokat védő elemeket építettek be. Gondolkodnak az ütköző rögzítésére szolgáló elemek integrálásán is. Sokat ígérők az ajtókra, csomagtartó- és motorházfedelekre vonatkozó tervek is. Az oldalsó ajtók és a csomagtartótetők a nagy törésállóság miatt a magas igényeket támaztó hibrid alkatrészek közé taroznak. *Egy oldalsó gépkocsiajtó akár 20%-kal is könnyebb lehet hibrid szerkezetben, mintha csak fémből készülné*, és könnyebben lehet beépíteni olyan elemeket, mint a zár, a légzsák, a hangszóró, a szilárdítóelemek, az ablakmechanika és a visszapillantó tükör.

Hibrid elemek még a motortérben is használhatók. Ilyenek pl. a teherviselő olajkádák, amelyekkel szemben sokkal nagyobbak a követelmények, mint a nem teherviselő elemekkel szemben. Ehhez a poliamid nem elég merev, ezért a hibrid megoldásban *fémerevítéseket alkalmaznak*. Így a merevség úgy nő, hogy közben a tömeg nem változik lényegesen. A padlóba elhelyezett hossz- és keresztmerevítők, valamint U-gerendák ugyancsak a hibrid technológia lehetséges jelöltjei közé tartoznak. Ezek tömege is 20–30%-kal kisebb a tisztán acélból készült szerkezetekénél, és ütközéskor is kedvezőbben viselkednek. Azok ugyanis gyakran helyi tönkremenetelt mutatnak, amit a hibrid technológiában helyi műanyag-erősítésekkel olcsón ki lehet küszöbölni. A műszerfalaknál a hibrid megoldással jól integrálhatók olyan elemek, mint a kábel- és légvezetékek, kormányoszloptartók, pedáldobozok, rögzítőelemek stb. Jó alkalmazási területnek tűnik az üveg- vagy polikarbonát panorámaablakok hordozóelemeinek gyártása is. Itt számításba jön a PBT [poli(butilén-tereftalát)] alkalmazása a PA6 helyett, mert ennek jobb a mérettartása.

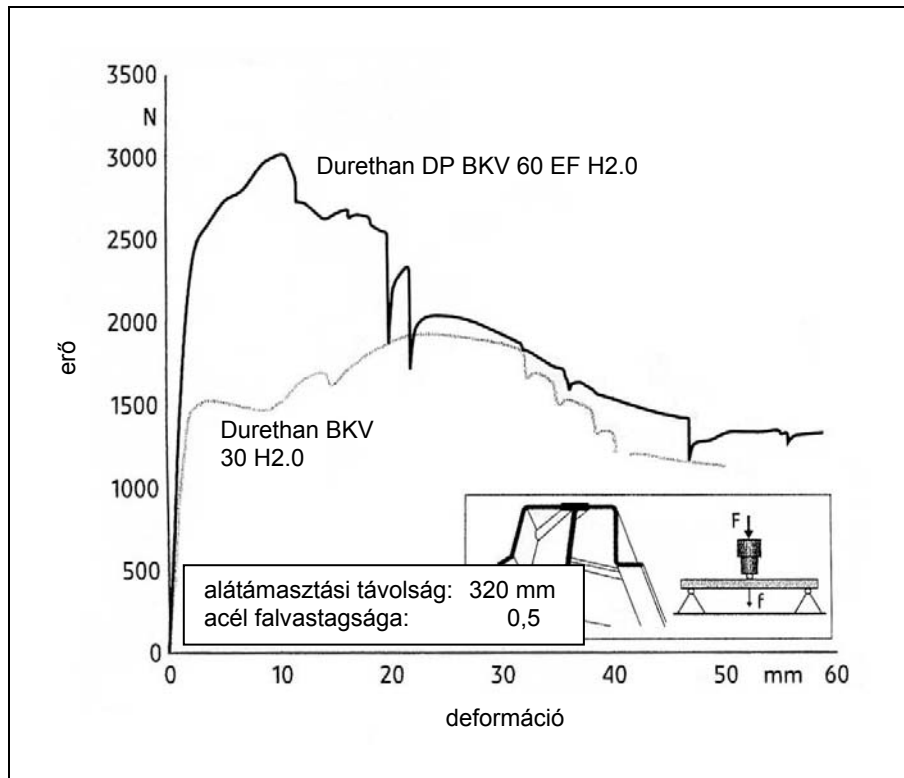
Nagy teljesítményű poliamidok

Ahhoz, hogy mindezekben a lehetséges új területeken áttörést lehessen elérni, a Lanxess új, erre a célra kidolgozott poliamidokkal jelentkezett, és továbbfejlesztette a feldolgozástechnológiát is. Ide tartoznak a jól folyó *Durethan EF* (Easy Flow) típusok és a rendkívül jól folyó *Durethan XF* (*Xtreme Flow*) típusok. Az *Easy Flow* típusok a hagyományos, azonos jellegű típusokhoz képest 50%-kal hosszabb folyásutat érnek el, ami azt jelenti, hogy további falvastagság- és tömegcsökkentés valósítható meg. Amikor pl. a *Durethan BKV 30 H2.0* típust a *Durethan BKV 30 EF* típussal váltották ki egy elülső ütközőben (frontend modul), jelentősen csökkenteni lehetett a gyártási költségeket. A befröccsöntési nyomás 40%-kal csökkent, ami csökkentette a vetemedési hajlamot. Mindez kisebb karbantartási költségeket eredményezett. Az alacsonyabb befröccsöntési hőmérséklet kevesebb energiát igényelt és kisebb lett a ciklusidő is.

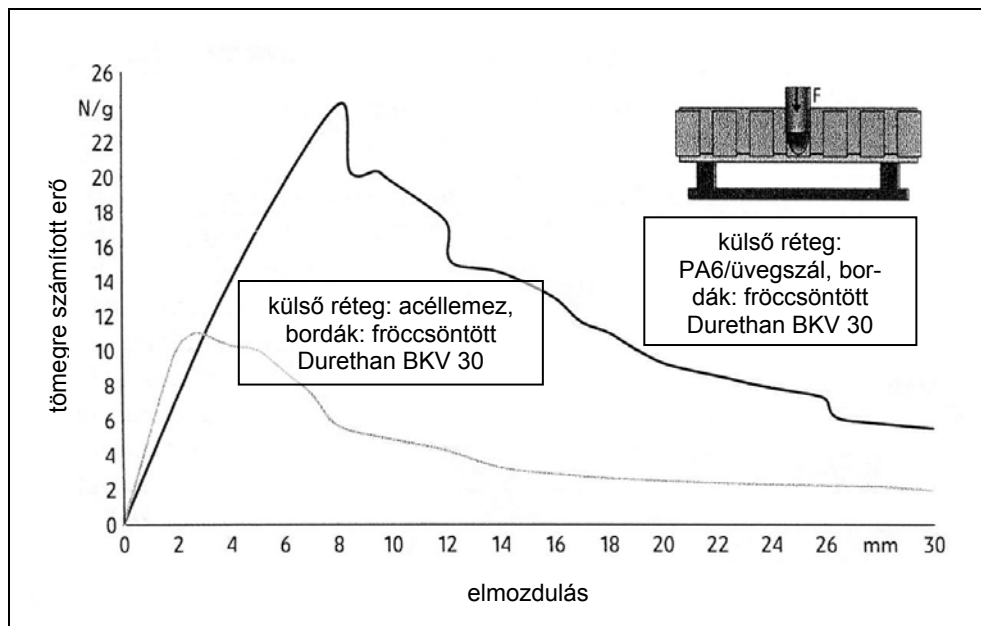
Teljesen új lehetőséget nyitnak meg az erősen töltött, mégis jól folyó PA típusok a hibrid alkatrészek előállításánál. Erre példa a *Durethan DP BKV 60 EF H2.0* típus, amely 60% üvegszálat tartalmaz, és amelynek húzómodulusa rendkívül nagy (20 GPa szobahőmérsékleten, fröccsszáraz állapotban). A *Durethan BKV 30 H2.0* típushoz képest mintegy dupla akkora erők érhetők el (1. ábra). Az így készült hibrid alkatrészeket vagy jobban lehet terhelni, vagy azonos terhelés esetén kisebb méretűre lehet tervezni, mint a hagyományos típusoknál. A merevebb műanyagkomponens alkalmazásával a hibrid alkatrész műanyaghányada növelhető, vagy bonyolultabb geometriák állíthatók elő belőle. Az ilyen poliamidok hővezető képessége is nagyobb, és magas hőmérsékleten is nagy a modulusuk. Ezért az így készült elemeket magasabb hőmérsékleten, azaz hamarabb el lehet távolítani a szerszámból a deformáció veszélye nélkül, ami tovább csökkenti a ciklusidőt. A Lanxess számításai szerint az így készült első ütközőmodulok gyártási költsége és tömege is 30–40%-kal csökkent a hagyományos poliamid típusokkal készített változatokhoz képest.

„Szerves bádog” sorozatgyártásra

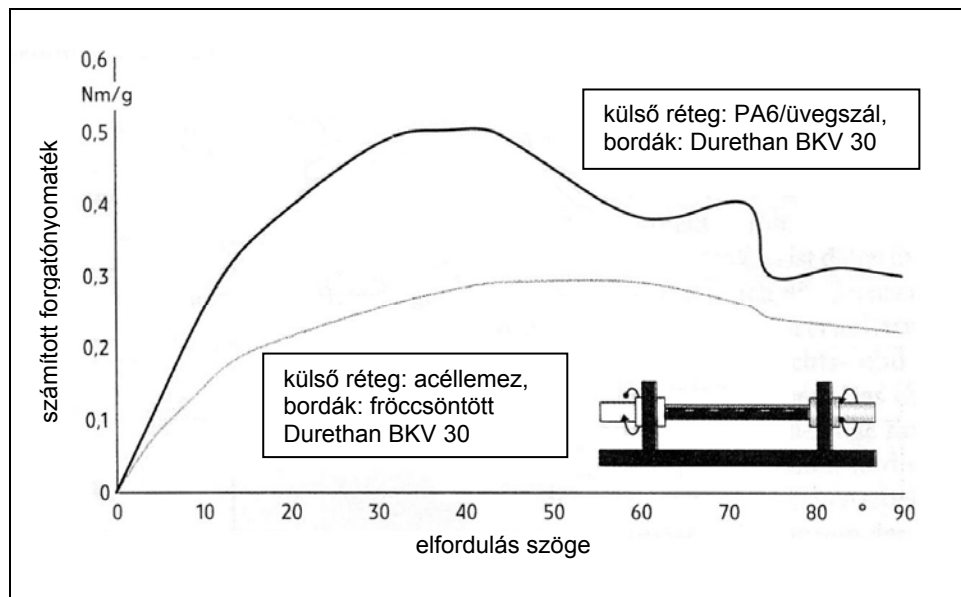
A német nyelvterületen használják a magyarul kicsit mulatságos, de kifejező „Organoblech” = „szerves bádog” kifejezést olyan lemez alakú félkész termékekre, amelyek üvegszállal, szénszállal, vagy kevert szállal vannak erősítve, és amelyeket egy speciális fröccsszerszámban megfelelő helyeken poliamiderősítésekkel vagy merevítéssel (bordázattal) látnak el. A hőre lágyuló műanyag ömledék egyesül a lemez anyagával, így *anyagfolytonos kötés alakul ki*. A 2. ábrán egy ilyen felépítésű hibrid alkatrész és egy műanyag-acél hibrid szerkezet hajlítóvizsgálatának eredményei láthatók. A kezdeti szakaszban a fém-műanyag hibrid valamivel merevebb, de a műanyag-kompozit alapú hibrid jóval nagyobb energiát vesz fel, nagyobb deformációnál és erőnél lép fel a maximális erő, tehát összességében teherbíróbnaak ítéltető. Torziós terhelés esetén (3. ábra) a kompozit alapú hibrid szerkezetnek még a merevsége is nagyobb, nemcsak a terhelhetősége. Időközben a kompozit alapú hibrid alkatrészek gyártása olyan előrehaladott stádiumban van, hogy akár nagy sorozatú gyártást is lehetővé tesz.



1. ábra Hárompontos hajlítóvizsgálat egy úgynevezett Erlanger vagy hibridtartón



2. ábra Acél-poliamid és kompozitlemez-poliamid hibridalkatrész hárompontos hajlító vizsgálata. A kompozit alapú hibrid szerkezet közel kétszer akkora erővel és nagyobb kitérésig terhelhető



3. ábra Acél-poliamid és kompozitlemez-poliamid hibrid alkatrész torziós vizsgálata.

A kompozit alapú hibrid szerkezet közel kétszer akkora erővel terhelhető

„Hibrid ragasztás”

A Lanxessnél folyik egy újfajta technológia fejlesztése is, amelyben az acéllemez úgy kombinálják poliamiddal hibrid alkatrészé, hogy hiányoznak az áttörések, ráöntések, vagyis *a két anyag között kizárólag adhéziós erők jelentenek kapcsolatot*. Egy szimulált hajlítási kísérlet értékelése azt mutatta, hogy egy ilyen „ragasztott” hibrid alkatrészről akár kétszer akkora erőfelvétel is várható, mint a hagyományos megoldástól. A számítások szerint a torziós merevség 40%-kal, a hajlítószilárdság akár 150%-kal is nőhet, az ütközéseknél fontos dinamikus hajlítószilárdság pedig 30–40%-kal. Ez azt jelenti, hogy a műanyag bordák mérete csökkenthető, tömeg és energia takarítható meg. Ennél a technológiánál a legfontosabb kérdés a ragasztó vagy kapcsolóanyag helyes megválasztása és az adhézió megbízhatósága, hogy a szerkezetek tervezhetőek legyenek.

Kötések hibrid szerkezetekben

A hibrid alkatrészekben nagyon fontos a fém és a műanyag közti kapcsolat erőssége és minősége. A fémek és műanyagok között olyan hagyományos kötéseket, mint amelyek műanyag/műanyag vagy fém/fém vonatkozásában hegesztéssel elérhető, nem tudnak készíteni az erősen eltérő olvadáspontok és a kémiai összeférhetlenség miatt. Éppen ezért ilyen kombinációkban *legtöbbször alak- vagy erőzáró kötéseket*

alkalmaznak. Az adhézió anyagzáró kötési mechanizmust jelent, de itt valamilyen ragasztóréteget kell alkalmazni a két anyag között, amely mindkettőhöz hozzátapad.

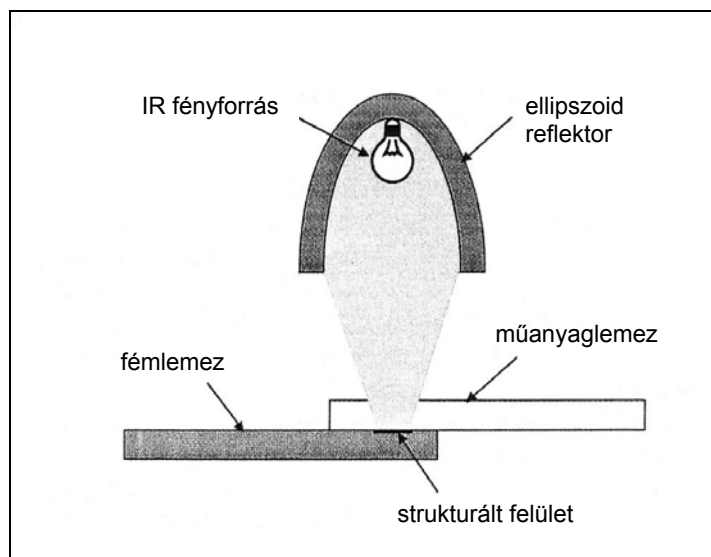
A hibridek egyik típusa a *betétes (inzert)*, a másik a *ráfröccsöntéses (outsert)* technológia. Az elsőre példa pl. egy csavarmenet körülöntése, a másodikra pedig az, ha egy teherhordó fémelemre műanyag funkcionális alkatrészeket fröccsöntenek. Ezek nem problémamentes eljárások, hiszen a műanyagoknak tapadnia kell a fémfelülethez, mégis kivehetőnek kell maradnia a szerszámból, amelynek ugyancsak fémfala van.

Valamivel nagyobb választási szabadságot jelent, ha a fém és a műanyag komponenseket külön-külön állítják elő, és utólag kapcsolják őket egymáshoz. Ehhez pl. ragasztást vagy más mechanikus módszert (csavarozás, bepattanó kötés, szegecseles, peremzés stb.) lehet használni. Formázó kötésekhez azonban mind fém, mind műanyag oldalon gondoskodni kell megfelelő formák és elemek kialakításáról (pl. át-törések, szegecsek helye stb.). Ezek a megoldások (a ragasztás kivételével) nem tömítenek, ezért ha jól záró megoldásra van szükség, külön tömítőelemről kell gondoskodni.

Alternatív megoldást jelent, ha a fémfelületet kezelik, és termikus kötési módszereket használnak a műanyag és a fém összekötésére – ez sokkal nagyobb tervezési szabadságot tesz lehetővé. Az egyik lehetséges felületkezelési módszer a *fémfelület lézeres strukturálása*, amelynek során nemcsak a felület nő, hanem alámetszések is keletkeznek, ami alakzáró kötést jelent – még ha mikroszkópos szinten is. Ahhoz, hogy egy mikrostrukturált felület hézagaiba bejusson a műanyag, mindenesetre nagyon kis viszkozitásúnak kell lennie. Ha többlépcsős hegesztési eljárást használnak (pl. infrasugárzásos vagy fűtőelemes módszert), akkor az energiabevitel és a kötés kialakulása közti rövid idő alatt is annyit csökken a hőmérséklet és annyit nő a viszkozitás, hogy a műanyag már nem jut be a finomabb felületi résekbe. Éppen ezért az egylépcsős eljárásokat kell előnyben részesíteni.

Infravörös átvilágítás

Az egyik lehetőség a *lézeres átvilágítás*, amelyről már bebizonyosodott, hogy működik. Egy másik lehetőség az *infravörös átvilágítás*, amely hasonlít a lézereshez, csak itt a fényforrás egy rövidhullámú halogénlámpa elliptikus reflektorral, ami a sugárzást egy kb. 5 mm átmérőjű foltra fókuszálja (4. ábra). A hullámhosszt úgy választják meg, hogy az a műanyagban áthatoljon, és csak a fém nyelje el, hővé alakítva a sugárzást. Ennek hatására a műanyag lokálisan megolvad és bejut a strukturált felület réseibe, formázó hibrid kötést kialakítva. Ehhez olyan fényforrásokra van szükség, amelyek a közeli infravörös tartományban (800–1500 nm) sugároznak, mert ebben a tartományban a legtöbb műanyag elnyelése csekély. A lézerek teljesítményének legnagyobb része egyetlen (vagy néhány) hullámhosszon jelentkezik, az infralámpák szélesebb hullámhossz-tartományban bocsátják ki a fényt (5. ábra). Noha a 800 nm alatti hullámhossz-tartományban is van bizonyos mértékű sugárzás, ami elnyelődik a műanyagban, a sugárzás nagy része átjut a műanyagban és a fémet melegíti fel.

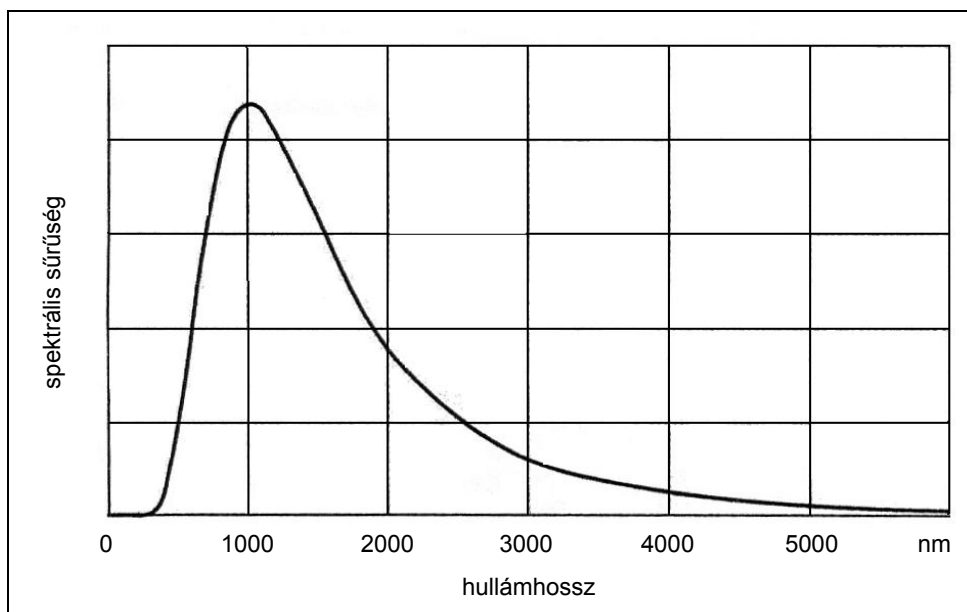


4. ábra Az infravörös átvilágítással történő hegesztés működési elve

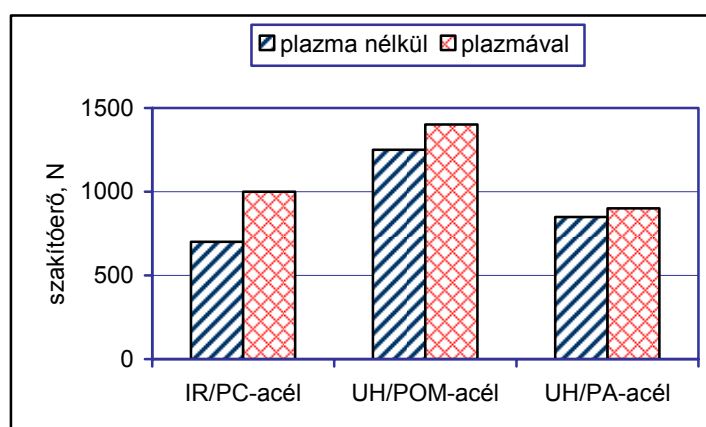
Az elvet egy Nd:YAG lézerrel lineárisan strukturált (vonaltávolság: 100 μm) acélfelület és polikarbonát hegesztésével próbálták ki. A felület durvítása nemcsak a mechanikai kötés javulása miatt volt pozitív hatással, hanem azért is, mert javult a felület sugárzáselnyelő képessége. A geometria egy átlapoló kötés volt, amelynek segítségével a kötés jóságát húzóvizsgálattal ellenőrizhették. Mind a fém-, mind a műanyagkomponens mérete 20x80x2 mm, a strukturált kötési felület nagysága pedig 5x20 mm volt. Sugárforrásként 400 W teljesítményű halogén infralámpát használtak, amelyet elliptikus reflektorba integráltak. A besugárzás során a forrást mozgatták a hegesztett felület fölött. Az optimalizálás során a legjobbnak a 3,5 mm/s mozgási sebesség adódott. Ennél lassúbb mozgásnál túl nagy volt az energiabevitel és buborékok képződtek a műanyagban vagy a határfelületen. Túl gyors mozgásnál pedig nem képződött elég olvadék és kellően szilárd kötés.

A fém-műanyag kötés javítására próbálkoztak a *fémfelület levegőplazmás előkezelésével* is. Ez nemcsak tisztítja a fémfelületet, hanem javítja a nedvesíthetőséget is, aminek hatására a műanyagömladék könnyebben befolyik a felületi részletekbe. A szakítóerők vizsgálata azt mutatta, hogy a plazmás előkezelésnek egyértelműen pozitív hatása van (6. ábra). Polikarbonát-acél páros esetében a 700 N-os szakítóerő 1000 N-ra nőtt a plazmakezelés hatására. Ez valószínűleg a jobb nedvesítésből származó nagyobb érintkezési felületnek tudható be.

Az olyan – részben kristályos – műanyagok esetében, mint a POM [poliacetál vagy poli(oxi-metilén)] vagy a PA (poliamid), az átvilágításos módszer nem működik olyan jól, mint az amorf polimereknél. Ezek ugyanis jobban elnyelik a távoli infravörös sugárzást, ezért a műanyag megolvad, még mielőtt a sugárzás elérné a fémfelületet, nem alakul ki a fém/műanyagolvadék kontaktus.



5. ábra Az átvilágításos hegesztésnél használt fényforrás spektrális sűrűsége a hullámhossz függvényében



6. ábra Különböző módokon hegesztett hibrid alkatrészek szakítóereje plazmakezeléssel és anélkül (IR: IR átvilágításos hegesztés; UH: ultrahangos hegesztés)

Fémek és műanyagok ultrahangos kötése

Ilyen esetekben kínál alternatívát az ultrahangos hegesztés. 40 kHz-es ultrahangforrást és egy precízen mozgatható csúszkát használva sikerült összehegeszteni a részben kristályos műanyagokat (POM, PA) a felületkezelte acéldarabbal. Ezzel a megoldással PA-acél pár esetében 850 N, POM-acél pár esetében 1280 N szakítóerőt sikerült elérni. A plazmakezelés itt is hasznos volt (900 N, ill. 1430 N). Ennél a megoldásnál

mindenesetre a fémet 150 °C-ra elő kellett melegíteni, hiszen az ultrahang hatására csak a műanyag melegszik – szemben az IR átvilágításos technikával. Ha a fémet nem melegítik elő, a műanyag túl hamar megmerevedik, és nem tud befolyjni a finom felületi részekbe.

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

Malek, Th.: Leichter als Stahl = Kunststoffe, 100. k. 3. sz. 2010. p. 80–84.

Michaeli, W.; Hoffmann, W.-M.: Hybride Verbindungen = Kunststoffe, 99. k. 6. sz. 2009. p. 50–52.