

Műanyagok kötése korszerű módszerekkel

A műanyagok széles körű alkalmazását tovább bővíti, hogy a végtermékek tervezésénél számolni lehet egyes részek összekapcsolásával hegesztés, ragasztás segítségével. A csomagolótechnikában, az autóiparban, a készülékgyártásban különösen fontos ezen módszerek ismerete. Hegeszteni csak a hőre lágyuló műanyagokat lehet, a ragasztás viszont univerzális módszer: térhálós műanyagokhoz is használható. Ma már mindkét kötési módra sokféle technológia és anyag áll a szakemberek rendelkezésére.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; ragasztás; hegesztés; lézer; orvostechnika.

Ragasztás és hegesztés a műanyag-feldolgozásban

A műanyagtermékek gyártásánál gyakran előfordul, hogy a termék túl nagy, vagy túl bonyolult ahhoz, hogy egy darabban állítsák elő, és ilyenkor ragasztást, oldószeres ragasztást, mechanikai rögzítést vagy különféle hegesztési technológiákat kell igénybe venni. *Hegeszteni csak a hőre lágyuló műanyagokat lehet, a ragasztás viszont univerzális módszer: térhálós műanyagokhoz is használható.*

Tekintettel arra, hogy a kötések kialakításának technológiája nagyon sok mindent befolyásol, a termék fejlesztésének meglehetősen korai stádiumában kell a megfelelő technológiát kiválasztani. Éppen ezért sok műanyaggyártó (különösen a műszaki műanyagokat gyártó cégek, így a **Lanxess** is) részletes tanácsokat adnak felhasználóiknak, hogy termékeiket milyen módszerekkel lehet és célszerű rögzíteni. Ha oldható kötések kivánnak létrehozni, akkor a hagyományos mechanikai rögzítési módszerek (csavarok, csapszegek, szegecsek) kínálják a legolcsóbb megoldást. Az oldhatatlan kötések kialakítására általában az oldószeres ragasztás és a ragasztás a legolcsóbb. A kétkomponensű epoxi- és poliuretánragasztók kitűnő szilárdságot biztosítanak. A cianoakrilát ragasztók gyorsan kötnek, de káros hatással lehetnek pl. a polikarbonát (PC) alkatrészekre, különösen, ha befagyott feszültségek vannak bennük. A kétkomponensű akriláragasztók általában jó kötési szilárdságot biztosítanak, de egyes gyorsítók, amelyeket ezekben használnak, károsíthatják a PC-ötvözeteket. Minden ragasztóválasztás előtt célszerű prototípusokon tesztelni az adott anyagot.

A hegesztésnél az energiabevitel történhet mechanikus módszerekkel (pl. rezgéssel), ami megolvasztja a hegesztendő felületeket. Az *ultrahangos hegesztés* (amely az egyik legelterjedtebb módszer a műanyag-feldolgozásban) állandó, esztétikailag igényes kötések eredményez. Az adalékok (pl. erősítő- és töltőanyagok) kis mennyiségben nem zavarják a hegesztést, de pl. 30% üvegszál-tartalom felett gyenge kötést ad-

hat, és pl. dörzshegesztésnél sérülhet a hegesztett felület. Vannak olyan adalékok (pl. külső szerszámleválasztók, kenőanyagok, égésgátlók), amelyek migrációjukkal csökkenthetik az adhézió erősségét, vagy akár teljesen meg is akadályozhatják a ragasztást vagy a hegesztést.

A **Sabic Innovative Plastics** műanyaghegesztéshez kiadott kézikönyvében felhívja a figyelmet arra, hogy a *vibrációs hegesztés, amelyet lineáris hegesztésnek vagy lineáris dörzshegesztésnek* is neveznek, igen jól alkalmazható hőre lágyuló műanyagok hegesztésére, amennyiben a hegesztendő felületek laposak. Ennél a módszernél a hegesztendő felületeket egymáshoz döröglik olyan módon, hogy a mozgatott darabot egy merev hangolt rugó/tömeg rendszerrel gerjesztik külső rezgést használva. A lineáris mellett létezik forgatásos, szög mentén mozgatott és pálya mentén mozgatott dörzshegesztés is. Tekintettel arra, hogy a teherhordó kompozitszerkezetekben is egyre szélesebb körben használják fel a hegesztést, a hegesztett kötéseknek komoly statikus és fárasztási igénybevételeknek kell ellenállni. A Sabic gyakorlatában szerepel, pl. egy olyan műanyag ütköző, amely 8 km/h ütközésnek képes ellenállni: *Xenoy 1102* ötvözetből készült, és két fröccsöntött darabból épül össze, amelyeket vibrációs hegesztéssel rögzítenek egymáshoz. A nagyteljesítményű hőre lágyuló műanyag kompozitok terjedésével, pl. a repülőgépiparban, a hegesztési technológiák szerepe és a velük szemben támasztott követelmények feltehetően tovább nőnek. A hegesztés egyik előnye a ragasztással szemben az újrahasznosításnál mutatkozik, hiszen nem visz be új anyagot a konstrukcióba, nem szennyezi az újrahasznosított műanyagot.

A műanyagok hegesztésénél használt egyéb technológiák között szerepel a *lézeres hegesztés, az ellenállásos hegesztés vagy az indukciós hegesztés*. A lézeres hegesztésnél az egyik hegesztendő alkatrész áttereszt, a másik elnyeli a lézersugárzást és ezzel melegíti fel a területet. Az ellenállásos hegesztésnél a beépített rezisztív fűtőelemek melegítik fel a műanyagot a szükséges hőmérsékletre, az indukciós hegesztésnél pedig egy beépített tekercset melegítenek fel változó mágneses térrel, a melegedést itt is az örvényáramok okozzák a tekercs ellenállása miatt.

Ultrahangos hegesztés

Ennél a technológiánál villamos energiával keltenek nagyfrekvenciás rezgést az úgynevezett akusztikus „szarvban”, amely bejuttatja a rezgést a hegesztendő műanyagba. A belső súrlódás miatt a rezgés egy része hővé alakul és megömleszti a műanyagot. A **Branson Ultrasonics**, amely a legjobbak között van az ultrahangos hegesztés és tisztítás területén, teljesen digitalizált 20, 30 és 40 kHz frekvenciás rendszereket dobott piacra *2000X* márkanéven. A berendezések sokféle változatban készülnek az asztali készülékektől kezdve a kézi változatokig. Mindegyik automatizálható, beépíthető a gyártósorba. A Branson az ultrahangos hegesztőberendezések mellett vibrációs, forrólemezes és forgó hegesztésre alkalmas berendezéseket is gyárt, sőt ezek kombinációját is.

A német **Hermann Ultrasonics** cég, amelynek leányvállalatai vannak az USA-ban és Kínában, ugyancsak fejlett ultrahangos technológiákat dolgozott ki. *HiQ* már-

kanevű berendezései gyors szerszámcsere-t tesznek lehetővé, ami gyorsítja a termelést, csökkenti az állásidőt és az energiafelhasználást. A berendezések teljesítménye 1200 és 600 W között változik, a frekvenciataromány 20 kHz–35 kHz. Van egy *Medialog* nevű berendezésük is, amelyet tisztatérben is működtetni lehet: a bejövő levegőt nagy tisztaságúra szűrik, a kimenő levegőt pedig összegyűjtik, és ez bejuttatható a szellőző ventilátor rendszerébe.

A **Dukane Corp.** az ultrahangos mellett ugyancsak számos egyéb (lézeres, vibrációs, forgatásos, forrólemezes) hegesztőberendezést, préseket, szerszámokat és szoftvereket kínál. Az *IQ* sorozatú ultrahangos hegesztő berendezések specialitása a rendkívül gyors adatfeldolgozás (0,5 ms), amelyet a cég *Multi-Core* nevű processzorainak használata tesz lehetővé. A feljegyzett adatok között van a teljesítmény, az energia, a távolság, az erő, a frekvencia és az idő. Mindezek a paraméterek nemcsak mérhetők, de szabályozhatók is a legfejlettebb változatokban, aminek pl. az igényes orvostechikai alkalmazásokban van jelentősége. Az erőérzékelő automatikus nyomásszabályozást tesz lehetővé, amivel az ömledéksebességet lehet pontosan beállítani.

Kör keresztmetszetű tárgyak hegesztése

A forgatásos hegesztés (spin welding) tengely menti forgatást és nyomást alkalmaz a hegesztés során. Az egyik hegesztendő darabot rögzítik, a másikat forgatják hozzá képest. A súrlódás melegíti fel és olvasztja meg a felületeket. Az eredmény erős, hermetikus kötés. A **Branson Ultrasonics SW300** típusú berendezése szervomotorral működik, amelynek pontossága $\pm 0,1^\circ$, és működtethető kézi, félautomatikus és teljesen automatikus üzemmódban.

A **ToolTex** cég olyan asztali berendezéseket gyárt, amelyek a nagy nyomaték miatt nagy átmérőjű (63,5 cm-ig) tárgyak hegesztésére is alkalmasak. A cég vállalja berendezéseinek beépítését meglévő gyártósorokba.

A **Plastic Assembly Systems** új és használt berendezéseket kínál forgatásos hegesztéshez, ultrahangos hegesztéshez és termikus hegesztéshez. *STS 2000* típusú termikus hegesztőberendezése szervomotorral biztosítja a pontos érintkezést a melegített felületekhez, hogy reprodukálható eredmények szülessenek. Különböző méretű berendezések állnak rendelkezésre kis-, közepes- és nagyméretű darabok hegesztésére.

Lézeres hegesztési technológiák

A lézeres hegesztés érintésmentes, rugalmasan alkalmazható kötési technológia, amely tiszta, hermetikusan záró kötések hoz létre minimális befagyott termikus feszültséggel, és nem maradnak vissza részecskék sem, mint a vibrációs hegesztésnél. Nagy pontosság érhető el hegesztőszerszám használata nélkül, és nincsenek fogyóeszközök sem, mint pl. hegesztőpálcák stb. A **Stanmech Technologies** és partnere, a **Lesiter Process Technologies**, *Novolas* márkaneven kínál lézeres hegesztőberendezéseket a kisüzemtől egészen a tömeggyártás, a nagy méretektől a finom mikroszerkezetek számára. A cég alkalmazástechnikai laboratóriumában kiértékeli a felhasználá-

lók megoldásait, és tanácsot ad azok javítására. A Lesiter *Weldplast S2* néven kézi extrudert is gyárt, amely ugyancsak felhasználható műanyag alkatrészek hegesztésére. Az extruder teljesítménye maximum 2,5 kg/h, és a hegesztőpapucs 360°-os szögben elfordítható. A cég forrólevegős hegesztőberendezéseket is szállít.

Az **LPKF** cég, amelynek központja Németországban van, *transzmissziós lézer-hegesztő berendezéseket* kínál, mind kézi, mind gépsorba integrálható, nagy teljesítményű változatban.

Az Egyesült Királyságban működő **Gentex Corp.** *Clearweld* néven olyan technológiát forgalmaz, amely speciális bevonatokat és lézerrel hegeszthető műanyag-adalékokat használ fel *átlátszó és áttetsző műanyag alkatrészek lézeres hegesztésére*. Ez a technológia különösen jól használható az orvostechikában, ahol sem a ragasztás, sem az ultrahangos hegesztés nem túl népszerű a szennyeződés veszélye miatt. A technológia elterjesztésében aktív részt vállal az **LPKF** és a **Branson Ultrasonics** cég is.

A lézertechnológiára specializálódott aacheni **Fraunhofer Intézet** *Liftec* néven kifejlesztett egy lézerrel támogatott kötéstechikológiát műanyag és fém alkatrészek kötésére. A szabadalmaztatás alatt álló eljárásban a műanyagot átvilágítják, és egy fémet melegítenek fel a lézersugárzással, majd a meleg fémfelülethez nyomják hozzá a műanyagot. Megfelelően tervezett alakú határfelület esetén nagy szilárdságú kötést lehet így kialakítani. A fém helyett kerámia vagy hőálló műanyag is alkalmazható.

Lézeres hegesztés az orvostechikában

A német **Rowemed** cég *Rowepump* néven fejlesztett ki egy fizikai meghajtással működő infúziós szivattyút, amelynek műszaki megoldására szabadalmat is benyújtottak. *Ez az első olyan szivattyú, amellyel a kritikus gyógyszereket külső villamos meghajtás nélkül is állandó sebességgel lehet adagolni*. A kényelmes, biztonságos és mozgatható berendezés mind intravénás, mind szubkután (bőr alatti) adagolásra alkalmas. Az alkalmazási terület a gyógyászat széles területeire kiterjed az onkológiától a szívgyógyászatig. A biztonságos szivattyú többféle méretben kapható 0,5 ml/h-tól 25 ml/h-ig terjedő adagolási sebességgel. A teljes adagolási időre vetítve az adagolási sebesség szórása nem haladja meg a $\pm 5\%$ -ot, és mindezt úgy, hogy legfeljebb 1 ml folyadék marad vissza a szivattyúban. A sokoldalúan előnyös megoldáshoz kiterjedt konstrukcióra, megfelelő anyag- és adalékválasztásra volt szükség. A pontos adagoláshoz a kötésirögztési megoldásokat is nagyon precízen kellett kivitelezni. A *lézerátvilágításos hegesztés*, amelynek során érintésmentesen pontos mennyiségű energia vihető be a rendszerbe, jó megoldásnak bizonyult.

Megoldandó problémák

A szivattyú hegesztési varrataival szemben nagy követelményeket támasztanak. Az egyik hegesztendő komponens egy speciális polikarbonát. A ház anyagát kékre színezik, amelyhez átlátszó tetőt hegesztenek hozzá úgy, hogy a hegesztett eszköznek akár 4 bar belső nyomást is ki kell bírnia. A higiéniai megfontolások miatt és azért,

mert a készülékben 10 µm átmérőjű integrált mikrocsonnak helyezkednek el, a hegesztésnek abszolút por- és szennyeződésmentesnek kell lennie. Mivel ezek a mikrocsonnak közvetlenül a hegesztett terület közelében helyezkednek el, a hegesztésnél nagyon pontosan kell megválasztani az energiabevitelt, hogy a csornának ne záródjanak el, és mindezt lehetőleg minél rövidebb ciklusidővel. A komplex követelményrendszernek az *átvilágításos lézerhegesztés bizonyult a legmegfelelőbbnek*. Az elv kiválasztása után a gyakorlati megvalósítás azonban nem bizonyult egyszerűnek: a kiválasztott kékre színezett anyag a lézersugárzás hatására túl mélyen olvadt meg, és a hegesztett varrat sem a méretpontossági, sem a szilárdsági követelménynek nem tett eleget. A probléma megoldásához az anyaggyártónak, a lézerhegesztő technológiát szállító cégnek és az orvosi eszköz gyártójának szorosan együtt kellett működnie. A kulcs a megfelelő pigment kiválasztása volt, amelynek hasonlónak kellett lennie a cégnél használt egyéb termékek színéhez, meg kellett felelnie az orvostechikai követelményeknek, nem zavarhatta a műanyag mechanikai jellemzőit és optimális elnyelést kellett biztosítani a lézersugárból. A műanyagok a lézerhegesztésnél használt NIR (közeli infravörös) sugárzás jó 95%-át átengedik, és csak speciális adalékokkal érhető el, hogy az elnyelt fény hatására az anyag megolvadjon. Először a 980 nm hullámhosszú fény elnyelésére optimalizálták a receptet, de ekkor kicsi volt a felületegységre vonatkozó elnyelés. Ezután olyan pigmenttel próbálkoztak, amelynek elnyelési maximuma 1064 nm-nél volt, de ez nem felelt meg a gyártó színkövetelményeinek, az optimális abszorpciós viselkedést csak alacsonyabb hullámhosszon lehetett elérni. Végül a kiválasztott abszorberből mesterkeveréket készítettek az egyenletes pigmenteloszlás biztosítására. Fontos lépés volt az is, hogy a szerszám optimalizálásával sikerült kiküszöbölni azokat a beszívódásokat, amelyek 0,1 mm-nél nagyobb hézagokat hoztak létre a hegesztendő felületek között, hiszen ezek jelentősen rontották volna a lézeres melegítés hatásfokát.

A lézeres hegesztőberendezés beépítése a gyártósorba

A hegesztést egy **Novolas WS** típusú berendezéssel végezték, amelynek egy megfelelő hullámhosszú 50 W-os diódalézer az energiaforrása. Két egyenes tengely mentén mozgatható 250 mm hosszán, amivel a lézersugár és a hegesztendő darab helyzete beállítható. Évi 200 000-400 000 darabos termelés esetén a normál munkaállomás, amely kézi munkát feltételez, tökéletesen elegendő. A munkadarabok behelyezése és kivétele manuálisan történik, de a hegesztésre zárt, munkabiztonságilag megbízható, automatizált körülmények között kerül sor. A tartószerkezet két munkadarab párhuzamos elhelyezését is lehetővé teszi. Minden hegesztési ciklusban egy felső, középső és alsó darabot rögzítenek egymáshoz. A befogást úgy oldották meg, hogy a két hegesztési részlépés közben ne kelljen eltávolítani a hegesztendő tárgyat és változtatni helyzetén. Ez nemcsak a ciklusidőt rövidíti le, hanem elkerüli a félkésztermékek köztes tárolásának problémáját is. A befogásnál egy automata ügyel arra, hogy csak megfelelően elhelyezett darabbal induljon el a hegesztés. A hegesztési folyamat automatikusan indul akkor, amikor a munkateret lezáró ablak bezárul, nincs szükség külön manuális indításra.

Nagy szilárdságú szerkezeti ragasztók

Az **ITW Plexus** cég egy sor szerkezeti ragasztót kínál hőre lágyuló műanyagok, kompozitok és fémek rögzítésére. Szerkezeti ragasztókról olyankor beszélünk, ha az alkalmazott ragasztó teherviselő elemként hozzájárul a konstrukció merevségéhez, szilárdságához. Az újabb termékek között szerepel három kétkomponensű, szobahőmérsékleten kötő akriláragasztó, amely meglehetősen erős, de rugalmas kötést biztosít kompozitelemek között minimális előkezelés mellett is. Az *MA350* ragasztó kötési ideje 30–40 perc és 17,8 mm-nél kisebb távolságok kitöltésére alkalmas. Az *MA560-1* esetében 70 perc a feldolgozási idő és 25,4 mm-s résekig alkalmazható. Az *MA590* feldolgozási ideje 105 perc és segítségével nagy üvegszál-as hajótestek is elkészíthetők. A ragasztók fémekhez és egyéb anyagokhoz is jól tapadnak. A Plexus *Fiberglass Fusion* néven olyan ragasztókat is kínál, amelyek kémiaiilag összekötik a poliészter-alapú kompozitrészeket, és mivel alig van szükség felületkezelésre, a szerelési idő akár 60%-kal is csökkenthető. A kötés olyan erős, hogy hamarabb lép fel delamináció a kompozit alkatrészekben, mint hogy a ragasztott kötés tönkremenjen. Az akriláragasztók adagolásához a cég adagolópisztolyt is kínál, amely sűrített levegővel működik, a keverési arány 6:1 és 15:1 között változtatható, az adagolási teljesítmény pedig 0,38–4,92 l/min között.

Az **ISP Corporation** *Weld-On* néven gyárt metakrilát szerkezeti ragasztókat, amelyek a legkülönbözőbb anyagokra alkalmazhatók, többek között galvanizált fémekre és poliamidokra is, amelyeket általában nehezen ragaszthatónak minősítenek. 4–17 perces feldolgozási idővel rendelkeznek, és felhasználhatók a járműgyártásban, építőiparban, szerelésben, hajózásban. A felületek minimális előkészítést igényelnek.

Szerkezeti ragasztókat felhasznál az autóipar is, az Audi 8 alumíniumkarosszériájában pl. a **Dow** ütközésálló *Betamate* ragasztóit. Ugyanez a ragasztó alkalmas hőre lágyuló műanyagok, üveg és kompozitok ragasztására is. A ragasztó egyben tömítőanyagként is funkcionál, nem engedi be a korróziót okozó környezeti elemeket. A *Dow Betaseal* ragasztójával a gépkocsik ablakait rögzítik a fémkeretbe.

A kompozitszerkezeteket fejlesztő **Gurit** cég olyan szerkezeti ragasztókat kínál, amelyek gyakran erősebbek, mint az összeragasztott alkatrészek. A *Spabond 340LV* ragasztót pl. hajóelemek vagy szélturbinalapátok ragasztására használják. Olyan nagy elemek ragasztására, amelyeknek a felülete nem teljesen egyenletes a *Spabond 345-öt* ajánlják, amely krémszerű, de a felhordás során nem folyik meg. A *Spabond 5-Minute* egy gyorsan kötő általános ragasztó, amelyet gyors, pontszerű rögzítésekre is használni lehet.

Különleges ragasztók

A **Dymax Corporation** sokféle ipari ragasztót gyárt, köztük UV fényvel térhálósítható és speciális orvosi célokra kifejlesztett ragasztókat. Ezek az *Ultra Red* márkanévű ragasztók olyan adalékot tartalmaznak, amely megvilágításra piros fényben fluoreszkál, szemben néhány műanyaggal, amely kékes természetes fluoreszcenciát

mutat. Ezzel a szíkontrasztal a ragasztott kötés minősége jobban vizsgálható. A ragasztócsalád jól használható PC, PVC és ABS, valamint rozsdamentes acél, üveg ragasztására.

A **Master Bond** cég bejelentette egy új, rendkívül jó hővezető képességű két-komponensű epoxiragasztó gyártását, amely ugyanakkor kitűnő villamos szigetelő, és számos különböző anyag (műanyag, fém, kerámia és üveg) ragasztására alkalmas. A ragasztott kötések mérettartása kitűnő, a zsugorodásuk nagyon kicsi.

A **Flexon Corporation V-778** néven nyomásérzékeny akriláragasztót kínál, amely olyan kis felületi energiájú műanyagok ragasztására is alkalmas, mint a TPO (hőre lágyuló poliolefin elasztomer). A ragasztó felhordása előtt nincs szükség a felület lángkezelésére, ami jelentősen csökkenti a feldolgozási költségeket. A ragasztó jól alkalmazható különböző poliolefinötvözetek és porbevonatok esetében is.

Az **Evonik Cyro LLC**, amely speciális akriláttermékeket gyárt, különleges kötőanyagokat, úgynevezett „cementeket” hozott forgalomba hőre lágyuló műanyagok (elsősorban az Evonik akriláttermékeinek) kötésére *Acrifix* márkaneven.

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

Stewart, R.: Joining Plastics. = Plastics Engineering, 65. k. 5. sz. 2009. p. 17–23.

Hinz, O.; Einnolf, N.; Glaser, S.: Eine glückliche Fügung. = Plastverarbeiter, 59. k. 9. sz. 2008. p. 66–68.