

Hegesztési újdonságok: automatizálás, infravörös (IR) hegesztés, fluorpolimerek hegesztése

A műanyag alkatrészek hegesztésénél, különösen az ultrahangos eljárásnál a folyamatok automatizálása elterjedőben van, mivel az automatizálás jelentősen javítja a gyártás termelékenységét és költséghatékonyságát, emellett pedig a termékek minősége is jobb, egyenletesebb lesz. A fluorpolimerek hegesztése kézi extruderes hegesztőkészülékekkel jó minőségben végezhető, de a berendezések anyagának magas hőmérsékleteken is jó korrózióállósággal kell rendelkezniük, és fontos betartani a szigorú munkavédelmi előírásokat.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hegesztés; PVDF; ECTFE; PFA; PTFE; PE; PP.

A műanyag-feldolgozó üzemekben egyre nagyobb jelentőségűek az ún. *másodlagos feldolgozási lépések*, amelyek közé tartozik az egyes műanyag alkatrészek összeerősítése bonyolultabb termékeké. Ennek egyik, a megbízhatóság és költséghatékonyság szempontjából legelőnyösebb módja a hegesztés. A hegesztésen belül, az ultrahangos hegesztés területén, az utóbbi időben a következő trendek figyelhetők meg:

- a hegesztés automatizálására törekvés,
- a hegesztőegységek teljesítményének és amplitúdójának növelése annak érdekében, hogy a módszert minél többféle hőre lágyuló műanyagra kiterjeszthesék,
- a szonotródák választékának bővítése, a minél komplexebb, eltérő méretű alkatrészek feldolgozhatósága érdekében,
- növekvő hegesztési precizitás, melynek érdekében egyre inkább szervomotoros berendezéseket használnak. A szervomotoros megoldást preferálják a vibrációs, rotációs és tükrhegesztéses berendezésekben is.

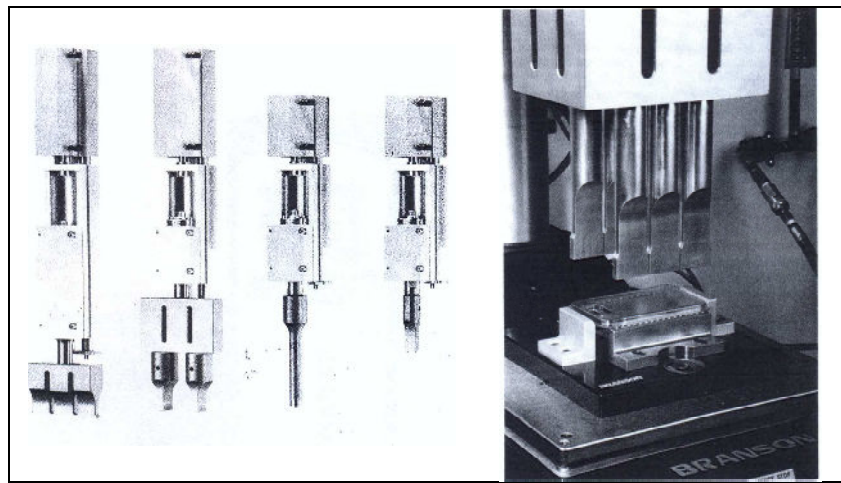
A fenti módszerek növelik a hegesztési eljárás rugalmasságát, alkalmazásának új termékekre kiterjedő bővíthetőségét. A gépkocsigyártók egyre gyakrabban írják elő követelményként a hegesztést, mint az alkatrészek összeerősítésének módját. Ennek ugyanis számos előnye van a mechanikai rögzítési módszerekkel szemben, különösen azért, mert a mechanikai rögzítések hosszabb idő elteltével esetenként elengedhetnek. *A hegesztés általában nagyobb kezdeti beruházási költséggel jár, mint a legtöbb más rögzítési eljárás, de segítségével bonyolult geometriájú vagy nagyon nagy méretű alkatrészek hozhatók létre, amelyek egy lépéses előállításuk nem, vagy csak rendkívül nagy költségekkel lenne megoldható.* Emellett, miután a legtöbb hegesztési eljárásnál

nincs szükség segédanyagokra, mint pl. a ragasztásnál vagy a mechanikai rögzítések-nél, továbbá gyorsasága következtében, a hegesztés alkalmazása a gyártási költségek csökkentését eredményezi.

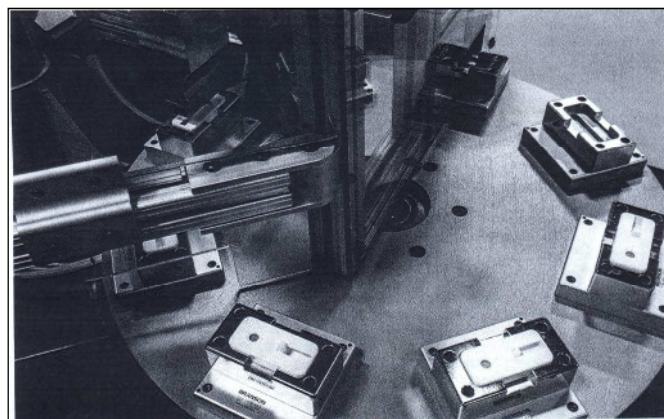
A hegesztés emellett állandóan fejleszthető, „finomhangolható” az egyre fejlet-tebb műanyag alkatrészek befogadásához, segítve ezáltal a termelékenység, a minőség és a gazdaságosság maximalizálását.

Automatizálási opciók

Alapjában véve kétféle megoldás terjedt el, amelyet több ultrahangos hegesztő berendezést gyártó cég (pl. Herrmann Ultrasonics, Branson Ultrasonics Corp.) is alkalmaz, vagyis *a robotkarra szerelhető egyedi berendezés és a forgóasztalos, több munkaállomásos megoldás (1. és 2. ábra).*



1. ábra A Herrmann Ultrasonics *VE Compactline* ultrahangos hegesztőkészülékei (bal-ra) elég kicsik és könnyűek, hogy robotkarra szerelhessék őket. A Branson Ultrasonics hatfejes berendezése (jobbra) egyszerre több ponton tud hegeszteni



2. ábra A Branson Ultrasonics forgóasztalos hegesztőautomatája

Például a Herrmann cég *VE Compactline* robotkaros megoldása pneumatikus hengerrel előmozgatott ultrahangos hegesztőegységével egy gépkocsialkatrészt műanyag hab hangszigetelését 20 helyen rögzíti a burkolathoz, és az előmozgatás révén hegesztésenként 1 s ciklusidőt megtakarítva a korábbi megoldáshoz képest, azaz összességében alkatrészenként 20 s megtakarítást eredményez. A berendezés 35 kHz-en, 6200 W-ig növelhető teljesítménnyel működik. A pneumatikus henger átmérője és lökethossza 40–100 mm. A percnkénti 60 hegesztés elkészítését a 0,2–0,8 másodperces hegesztési idők teszik lehetővé.

A nagyobb méretű, forgóasztalos *VE Slimline* modellek 20, 30 és 35 kHz frekvenciával és max. 6200 W teljesítménnyel működnek. Az automatizált megoldással egy korábban kézi hegesztéssel végzett folyamatot sikerült kiváltani, ami a zárt burkolatokat (pl. gépkocsi-fényszórók, elektronikus berendezések) látja el nyomáskiegyenlítő, port és nedvességet kizáró membrános lezárású nyílásokkal. A digitális programozású rendszerrel a membránszűrőt tekercsből juttatják a kívánt pozícióba, ahol azt mechanikusan rögzítik, és az ultrahangos hegesztőfej egy lépésben kivágja és a nyomáskiegyenlítő nyílásra hegeszti a megfelelő méretű membránt. A kézi üzemmódban is működtethető berendezés 5–22 mm átmérőjű korong, négyzet és téglalap alakú membránokat képes beépíteni.

A Branson Ultrasonics különböző bonyolultsági szintű vezérléssel látja el modelljeit. A *DCX-V* jelzésű alapmodell mellett a *DCX-S* típus már kis képernyővel van ellátva az egyszerűbb programozáshoz, a *DCX-A* és a *DCX-F* típusok pedig már teljes értékű, több hegesztési móddal, behatároló és másodlagos szabályozási lehetőséggel ellátott rendszerek. E készülékek 20, 30 és 40 kHz hegesztési frekvenciával és 400–4000 W teljesítményamplitúdóval rendelkeznek. A különböző szintű vezérlési lehetőségű modellek közül lehetséges az automatizált rendszer kialakításánál az adott célra legmegfelelőbbet kiválasztani és integráltan beépíteni. Azonban mindegyik modellnél lehetséges a teljesítményfelfutást, 0,01–1 s között nulláról a teljes teljesítményig programozni, hogy a hegesztési teljesítményt optimalizálják és csökkentsék a ciklusidőt.

A Sonics & Materials cég az ultrahangos hegesztéshez szükséges különböző részegységeket (pl. ultrahang-generátorokat, aktuátorokat, szonotródákat) szállít hegesztőrobotokat és más automatizált rendszereket készítő cégeknek. Legújabb termékük a 20 kHz-en működő *X-Press* asztali modell, amely beépített tápegységgel és mikroprocesszor vezérléssel van ellátva. A hegesztés digitális időszabályozással vagy állandó energia módban végezhető. Emellett automatizált frekvenciahangolással hegesztő, tartó, késleltető és utólökés mód is beállítható, megadhatók az alsó és felső hegesztési határok és a terhelést is szabályozni lehet. A legtöbb modell 20 kHz-en, azaz a leggyakrabban használt frekvencián működik.

Az ultrahangos hegesztés egyik innovációja az ún. *torziós hegesztés*, amelyet a Telsonic Ultrasonics cég fejlesztett ki és dobott piacra *Song Twist* márkanéven. E módszer a hegesztési pontokon a szonotróda Z-tengely irányú, 20 kHz-es frekvencián történő mozgatásával működik. Tangenciális irányból vibrációt vezetnek a felső munkadarabhoz, amely e munkadarabot horizontális mozgásra készíti az alsó munkadarabhoz képest. Ez az alsó munkadarab csupán nagyon csekély vibrációját eredményezi,

ami érzékeny alkatrészeknél, mint az elektronikai berendezések vagy az esztétikailag igényes darabok (pl. A-kategóriás felületi bevonatú gépkocsi alkatrészek) előnyös.

Az egyre inkább alkalmazott *infravörös (IR) hegesztést* elsősorban nagy méretű darabok összeerősítésére használják. Az IR hegesztésre is specializálódott Forward Technology cég olyan rendszert fejlesztett ki, amely költséghatékony módon, közös platformra alakít ki testreszabott megoldásokat, amely platformot vibrációs és tükör-hegesztéses berendezéseikhez is alkalmazza. Az IR sugárzókat horizontálisan, vertikálisan és derékszögben is fel lehet szerelni e platformokra, amelyek emellett rögzítőelemeket és más eszközöket is hordozhatnak. Egyik legújabb berendezésük 2 darab 24 collos (609,6 mm) mosógépdobrást hegeszt össze. A cég emellett lézeres hegesztő-berendezéseket is fejleszt, mivel úgy látják, hogy ez a jelenleg még sok korláttal rendelkező eljárás jó alkalmazási lehetőségekkel rendelkezik számos területen.

Az EWI az additív gyártástechnológia terén vizsgálja a lézeres és az ultrahangos hegesztés alkalmazásának lehetőségeit. Ismert, hogy a 3D nyomtatásnak is nevezett módszer során a CAD adatokból kiindulva műanyag vagy fémporokból rétegenként építik fel a gyakran igen komplex terméket. E rétegek egymáshoz kötését lézeres vagy ultrahangos hegesztéssel is meg lehet oldani. A cég leányvállalata a Fabrisonics ultrahanggal oldja meg e feladatot.

Fluorpolimerek hegesztése

A különböző fluorpolimerek közös jellemzője a kitűnő vegyszerállóság és hőállóság. Magas hőmérsékleten esetlegesen bekövetkező bomlásuk azonban nagyon korrózív és mérgező vegyületek (pl. hidrogén-fluorid) képződését okozza. Ezért feldolgozásuk és így hegesztésük is nagy hőállóságú és korrózióállóságú berendezéseket igényel. A fluorpolimereket elsősorban a vegyiparban használják szerkezeti anyagok és bélések formájában, de az elektronikus és villamosiparban is elterjedten alkalmazzák őket, akár csak a repülőgépgyártás és az űrhajózás területén, de gyakran felbukkannak szállítószalagok, fűtőelemek vagy háztartási edénybevonatok formájában is.





Fontos, hogy kellő biztonsággal és gyorsan, egyszerűen lehessen a fluorpolimer alkatrészeket egymáshoz hegeszteni. Erre német kutatók kézi extruder, forrólevegős hegesztőberendezést fejlesztettek ki a poli(vinilidén-fluorid) (PVDF) és az etilén-klór-trifluor-etilén (ECTFE) polimer számára, mely berendezés azonban más fluorpolimereknél – mint a perfluor-etilén-propilén (FEP) és a perfluor-alkoxil-alkán (PFA) – is használható. A szerkezeti anyagoknál fontos szempont volt a nagy hőállóság és korrózióállóság. Az extruder kialakításánál is követelmény volt a hosszú élettartam, a kihozatali teljesítmény és a könnyű kezelhetőség. Az alkalmazott elektronika lehetővé teszi a folyamatos adatforgalmat, jó reprodukálhatóságot eredményezve mind az extruder, mind pedig a forró hegesztőgázt szolgáltató egység esetében. Egy személyi számítógéphez csatlakoztatva lehetséges az adatok grafikus megjelenítése, tárolása, ami nagy segítséget nyújt az esetleges hegesztési hibák felfedezéséhez.

A fejlesztés során kialakított kézi extruder 2 kg/h kihozatali teljesítménnyel képes működni. Még a PVDF és ECTFE anyagokkal megvalósított huzamos működés

során sem volt tapasztalható korrózióra utaló elszíneződés, vagy a csiga és a henger kopása. A hegesztőpapucs kialakításakor a DVS2207-4 irányelv szerint jártak el. A hegesztőpapucs anyagának kiválasztásához többféle alapanyagot vizsgáltak be (1. táblázat). A PVDF esetében a teflon, az ECTFE esetében pedig végül az alumínium bizonyult a legjobbnak, mert a PTFE itt már hőállóságának felső határán mozog, és ezért kopása túl nagyra bizonyult.

1. táblázat

A hegesztőpapucs anyagainak összehasonlítása

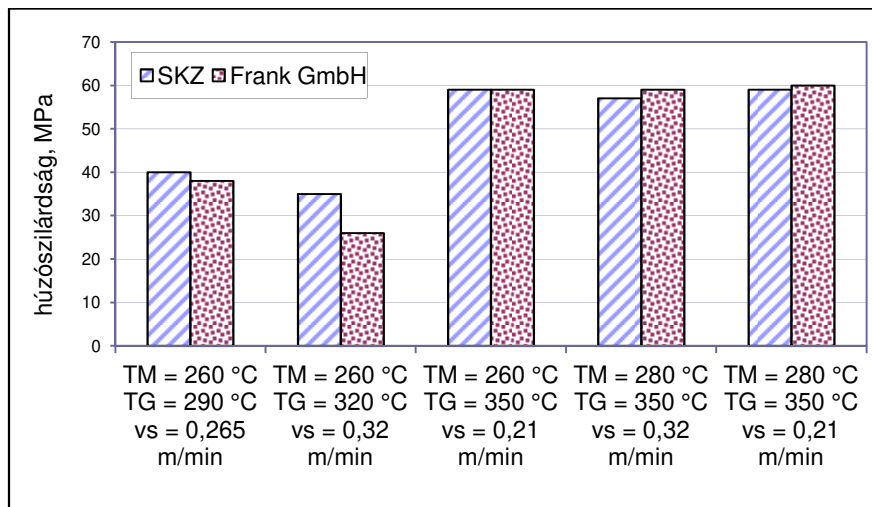
		PTFE	Alumínium (PTFE bevonattal)	Alumínium	Alumínium (HT bevonattal)
					
Felületi feszültség mN/m		21,8 ± 1,0	17,8 ± 1,0	35,2 ± 0,5	38,0 ± 0,5
PVDF	tisztíthatóság	nagyon jó	jó	csak melegen	csak melegen
	a varrat megjelenése	nagyon jó	nagyon jó	jó	jó
	varratszél/ bevonatfelület	nagyon jó	nagyon jó	rossz	rossz
ECTFE	tisztíthatóság	jó	jó	csak melegen	rossz
	a varrat megjelenése	jó	rossz	nagyon jó	nagyon rossz
	varratszél/ bevonatfelület	jó	jó	jó	rossz

A hegesztési kísérletekhez felhasznált PVDF és ECTFE anyagok reológiai és termikus tulajdonságait is bevizsgálták. A minták viszkozitását lemezes reométerrel határozták meg. A polimerek az extruderben megömlesztésük során nagy nyírási sebességeknek vannak kitéve, míg a hegesztési varrat kialakításánál a nyírási sebesség kicsi, ezért fontos, hogy széles nyírási sebességtartományban ismertek legyenek a reológiai jellemzők. A PVDF viszkozitása szinte alig változott a vizsgált hőmérséklet-tartományban (240–260 °C), ugyanakkor a nyírási sebesség növekedésével jelentős csökkenés volt tapasztalható. Az ECTFE viszkozitása jóval kisebb, és ez a hőmérséklet, illetve a nyírási sebesség növelésekor még tovább csökken, tehát csak egy szűkebb feldolgozási ablakkal hegeszthető. A hegesztésnél alkalmazott nyomást és sebességet a fenti adatoknak megfelelően kell megválasztani.

A minták üvegesedési átmeneti hőmérsékletét és olvadáspontját DSC berendezéssel határozták meg. A TVDF esetében az olvadáspont 175,4–176,1 °C között volt, az ECTFE-nél pedig 241,8 °C, tehát jóval magasabb érték volt. Mindkét anyagnak

nagy a hőtágulási együtthatója, amelyet a hegesztésnél mindig fontos figyelembe kell venni. Így például PVDF vagy ECTFE lemezek 500 mm-es hosszán történő összehegesztésénél a hőtágulás elérheti a 10 mm-t, vagyis a varrat lehüléskor jelentős zsugorodást szenved, ami egyenetlen lehülésnél kisebb-nagyobb cellaüregek, esetenként lunkerek megjelenését okozza. Ennek mérséklésére célszerű a varratot létrehozása után azonnal letakarni, hogy lassúbb és egyenetlesebb lehülést biztosítsunk.

A vizsgálati eredmények alapján megállapították, hogy a *DVS 2207 BBI* irányelv szerinti értékek jó kiindulási bázist jelentenek a hegesztési paraméterek beállításához, azaz PVDF esetében az ömledék-hőmérséklet értéke 250 °C, a forró levegő hőmérséklete pedig 310 °C, míg az ECTFE esetében ezek a jellemzők 300 °C és 380 °C kiindulási értékek legyenek.



3. ábra Az SKZ kutatóközpont és a Frank GmbH által előállított PVDF próbavarratok átlagos, maximális húzószilárdsága az alkalmazott T_M ömledék- és T_G forró gáz hőmérséklet, illetve a v_s hegesztési sebesség függvényében

A hegesztési varrat minőségét húzóvizsgálatokkal (3. ábra) és a lunkerek esetleges megjelenésével jellemezték a hegesztési paraméterek változtatása mellett. A PVDF esetében az ömledék-hőmérsékletet 240 és 280 °C között, a forró gázét pedig 290 és 350 °C között változtatták. A húzószilárdság-méréseket a *DVS 2203-2* szerint végezték 5–5 párhuzamos méréssel, a PVDF esetében 20 mm/min, az ECTFE esetében pedig 50 mm/min sebességgel. A PVDF vizsgálatánál azt tapasztalták, hogy a hegesztési paraméterek változtatása jelentősen befolyásolja a hegesztési varrat jóságát, de megfelelő beállításokkal akár az 1-es jósági tényező, azaz az alapanyag szilárdságával megegyező varratszilárdság is elérhető. Ez kitűnő eredmény, különösen, ha a PE vagy PP esetében elérhető, a *DVS 2203-1* szerinti 0,8 értékkel hasonlítjuk össze. A legjobb eredményeket lassúbb (0,21–0,26 m/min) hegesztési sebesség és magasabb – 260–280 °C ömledék- és 320–350 °C gáz- – hőmérsékletek mellett sikerült elérni (2. táblázat).

A projekt során legjobbnak talált hegesztési paraméterek és a DVS irányelvben szereplő értékek összehasonlítása

		PVDF		ECTFE	
		DVS irányelv 2207-4 BB1	A projekt szerinti	DVS irányelv 2207-4 BB1	A projekt szerinti
Ömledék-hőmérséklet	[°C]	240–260	260–280	–	≥300
Hegesztőgáz hőmérséklete	[°C]	280–350	320–350	–	380–400
Hegesztési sebesség	[m/min]	–	0,21–0,32	–	0,21–0,26

Az ECTFE hegesztésének legjobb eredményeit 300 °C ömledék- és 380 °C gáz-hőmérséklet mellett 0,21 mm/min hegesztési sebességnél érték el, ahol a varratszilárdság 0,99 jósági értéket mutatott. Az ennél magasabb hőmérsékletek és hegesztési sebesség használata esetén a varrat optikailag szebb képet mutat, azonban szilárdsága 0,87 jóságértékre csökken.

Noha a hegesztési varrat jóságát általában a rövid idejű húzó igénybevétellel szembeni ellenállással szokták jellemezni, fontos mutató a hosszú idejű terhelésekkel szembeni ellenállás mértéke is. E vizsgálatokat 2% nedvesítőszeret tartalmazó oldatban 75 °C-on 12,5 MPa terheléssel végezték. Ennek során azt tapasztalták, hogy egy egyébként jó hegesztésnél az alapanyagban a varrat mentén létrehozott horony a szilárdság jelentős lecsökkenését eredményezi.

Fontos, hogy a fluorpolimerek hegesztését végző dolgozó légzőkészüléket viseljen, mivel a munkavégzés során keletkező gázok (pl. hidrogén-fluorid) rendkívül mérgezők és korrozívak. Ezért a helység állandó, jó szellőztetéséről is gondoskodni kell.

Összeállította: Dr. Füzes László

Toensmeier P.: Plastics welding systems are being enhanced with a cornucopia of automation and other options = Plastics Engineering, 70. k. 2014. p. 6–12.

Hoffmann M., et.al.: Fluorkunststoffe sicher verbinden = Kunststoffe, 104. k. 1. sz. 2014. p. 50–54.