

## Hegesztési módszerek közötti választás szempontjai

A műanyagok összeillesztésének egyik módszere a hegesztés. Ehhez sokféle eljárás és berendezés áll a felhasználók rendelkezésére, amelyek közül néha nehéz kiválasztani az adott termékhez az optimális megoldást. Az alábbiakban ehhez kaphatnak segítséget.

*Tárgyszavak: hegesztés; illesztés; utóműveletek; poliamid.*

## A különböző hegesztési módszerek előnyei és hátrányai

A műanyag-feldolgozó gyakran találkozik azzal a kérdéssel, hogy az előállított műanyagtermék(ek)et milyen módszerrel szerelje, rögzítse vagy hegessze egymáshoz. A választék széles: léteznek fűtőelemes, dörzshegesztési, lézeres, ultrahangos, hőimpulzus, forrógázos és egyéb hegesztési eljárások. Mindegyiknek megvannak a maga előnyei és hátrányai, és nagy tapasztalatra van szükség az adott helyzetre legjobb megoldás kiválasztásához. Ez függ a darabszámtól, a ciklusidőtől, a rendelkezésre álló anyagválasztéktól, a termékek méretétől, a hegesztési varrat alakjától, és számos egyéb tényezőtől. Az alábbiakban egy konkrét példán, egy kormánymű olajtartályán nézzük meg különböző hegesztési megoldások előnyeit és hátrányait (1. ábra). A bemutatott hegesztőberendezések és megoldások mind a német **Bielomatik Leuze GmbH & Co. KG** (Neuffen) termékei.



1. ábra Összehegesztett olajtartály

A próbatest egy eredetileg vibrációs hegesztésre kifejlesztett tartály két fele, amely 30% üvegszálat tartalmazó PA 66-ból készült. A hegesztési varratot ennek megfelelően mindkét oldalon eltakart, horonycsap szerkezetűre alakították ki. A kötést a lehető legtisztábban kell előállítani. Ha az olaj a legkisebb mértékben is szennyeződik műanyagtörmelékkel, az súlyos károkat okozhat a kormányműben. A hegesztési varratnak biztosítania kell a szivárgásmentességet egészen 2,5 bar repesztési nyomásig. Ebben a tekintetben mindegyik alkalmazott hegesztési módszer bevált: 3 és 5 bar közötti nyomáson a repedések mindig a hegesztési zónán kívül képződtek.

## **Energiahatékony infravörös hegesztés**

*Az infravörös hegesztés kiemelkedő előnye az érintésmentes felmelegítés.* Ezzel a módszerrel teljesíthetők a legszigorúbb minőségi és gazdaságossági elvárások. A magas olvadáspontú és kis viszkozitású műszaki műanyagok és olyan alkatrészek, amelyek az érintkezéses hegesztési módszereknél problémákat okoznak, ezzel rendszerint jól feldolgozhatók. Alkalmazható 3D hegesztési varratok esetében is. A berendezési igény nem jelentős. Infravörös fényforrásként többféle megoldás is szolgálhat: pl. fémfóliás vagy üvegszöves 3D kontúrsugárzók is kialakíthatók. Mindkét megoldás jól szabályozható és kicsi az energiafelhasználás. Az optimális energiájú sugárforrások követik a hegesztési kontúrt és csak a felmelegítés során működnek, ezért kedvező az energiamérleg. A rövidhullámú üvegszövsugárzók arra is alkalmasak, hogy a műanyagot mélységében megolvasszák még akkor is, ha magas az olvadáspontja és nagy az olvadási entalpiája. Sík hegesztendő felületeknél egy harmadik megoldást is alkalmaznak: sík sugárzót fémlemez maszkkal. Ez olcsó megoldást jelent a fényforrásra és a maszkra is.

## **Kopásmentes gázkonvekciós módszer**

*A gázkonvekciós felmelegítés ugyancsak érintkezésmentes és gyors.* Itt is lehetőség van az egyébként nehezen megmunkálható műszaki műanyagokat összeépíteni. Ennél a módszernél a hegesztendő műanyagokban jelen levő töltőanyagok, színezőanyagok alárendelt szerepet játszanak. Az előzőben leírt módszerhez hasonlóan a felületi egyenetlenségek kiegyenlítődnek és a hegesztési varrat (zsinór) a normál, érintkezéses módszereknél kisebb méretű. Az optimalizált égetésnél kevés oxigént használnak a lángban, ami csökkenti a műanyagfelület oxidatív degradációját a hegesztés során. A felhasznált eszközök alig kopnak, és nem igényelnek különösebb karbantartást.

## **Átvilágító lézeres hegesztés**

A lézeres átvilágításos módszer elsősorban nagy sorozatú műanyag alkatrészek esetében tesz lehetővé kopás- és rázkódásmentes hegesztést. A kváziszimultán hegesztési módszernél a teljes hegesztendő felületen nagy pásztázási sebességgel, szinte egy-

szerre bocsátják át a lézerfényt. Az egyes pontokon a lézerfény másodpercenként többször is áthalad, ami a pontszerű megvilágítás ellenére egyenletes felmelegítést és lágyulást biztosít. Ehhez a hegesztéshez általában egy, az alkalmazott sugárzás számára átlátszó és egy azt elnyelő hegesztendő alkatrészre van szükség. *A módszer erőssége a finom hegesztési kontúr és alkatrészek alkalmazásának lehetősége, amely minimalizálja a mechanikus és termikus terhelést.*

## **Többfunkciós vibrációs hegesztés**

A Bielomatik multifunkciós vibrációs hegesztőberendezései sokféle módon alkalmazhatók. *A gépek kiépítése lehetővé teszi a tisztán vibrációs, a kombinált vibrációs és az infravörös, valamint a tisztán infravörös hegesztést is. A vibrációs hegesztés egyik előnye a rövid ciklusidő.* Ez a módszer legjobban olyan esetekben használható, ahol nagy a hegesztendő felület, és más módszerekkel nehezen hegeszthető műanyagoknál is alkalmazzák. Az infravörös előmelegítéssel kombinálva olyankor is sikerrel alkalmazható, ahol eddig a bonyolult 3D geometria, a hideg sűrűlódási fázisban fellépő kopás okozta részecskéképződés miatt nem használták. Tudni kell azonban, hogy a vibrációs hegesztésnél a kopásból származó részecskéképződés optimalizálással csökkenthető ugyan, de teljesen általában nem szüntethető meg.

## **Nincs kizárólagos megoldás**

A fenti példa is mutatja, hogy többféle megoldás is létezik egy-egy hegesztési probléma megoldására. A bemutatottak közül a vibrációs hegesztés a pormentesség igénye miatt nem jön számításba, de a légmentes zárást a nyomáspróbák szerint mindegyik eljárás biztosítja. A ciklusidő szempontjából a 35 s-os forrógázos hegesztés bizonyult a legjobbnak (eltekintve a 19 s-os vibrációs hegesztéstől, amelyet más okokból kellett kizárni). A leghosszabb ciklusideje (55 s) a lézeres hegesztésnek volt. Adott esetben azonban mégis megérheti a várakozás, ugyanis *a legjobb optikai minőségű hegesztési varratot a lézeres hegesztés szolgáltatja.* Ebben a tekintetben az infravörös hegesztés követi. A hegesztési varrat részecskementessége szempontjából a vibrációs hegesztés kivételével mindegyik módszer elfogadható. Ugyanakkor a fémfóliás sugárzóval végzett infravörös hegesztés szolgáltatta a legjobb energiamérleget.

A felhasználónak magának kell minden egyedi esetben eldöntenie, hogy melyik módszert választja, a különféle előnyöket és hátrányokat súlyozni kell az adott alkalmazás szempontjából. Figyelembe kell venni az egyes berendezések beruházási költségeit, a tervezett darabszámot, a ciklusidőt, az alkalmazott berendezés felhasználásának rugalmasságát (hányféle műanyagra használható, mennyibe kerül az átállítás más geometriára stb.). Adott esetben fontos lehet a hegesztési varrat optikai minősége, és egyéb jellemzői is. Az *1. táblázat* foglalja össze a különböző módszerek előnyeit és hátrányait.

## Különböző hegesztési eljárások összevetése 30% üvegszálal tartalmazó PA 66-ból készült olajtartály hegesztésénél

Kritérium/ módszer	IR sugárzó fémfólia	IR sugárzó üvegszál	IR sugárzó felület + maszk	Gázkonvenció	Lézer kvázi-szimultán	Dörzshegesztés IR előmelegítés	Dörzshegesztés
Ciklusidő, s	47	50	50	35	55	41	19
Olvadási hossz, mm	0,7	0,8	0,8	0,5	0,35	0,6	0,5
Anyagválasztás rugalmassága	++++	++++	++++	++++	+	++++	+++++
Méret-rugalmasság	+++	+++	++++	++++	++	+++	+++
Sík, egyenletes varrat	++++	+++	++++	++++	++++	++++	++++
3D varrat	+++	+++	+++	++++	++	++	+++
Bonyolult varrat	+++	++	+	+++	+	++	+++
Varrat optikája	++++	++++	++++	+++	++++	++	+
Varrat szilárdsága	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Pormentesség tisztaság	++++	++++	++++	++++	++++	+++	+
Energiamérleg	++++	+++	++	+++	+	++	++++
Beruházási költség	+++	+	+++	+++	+	+	++
Készülék beszerezhetősége	+++	+++	+++	++++	++++	+++	++++
Peremfeltételek	Az energia-költségek előtérben, nem kell más hasonló terméket gyártani	Az energia-költségek előtérben, nem kell más hasonló terméket gyártani	Több hasonló termék sík hegesztési varrattal, a rendelt mennyiség nem terheli le a berendezést	Nagy darabszám, ritka termékcsere	Kis darabszám, gyakori szerszámcseré	Nagy darabszám	Nagy darabszám

## Tiszta és tartós hegesztés

A műanyag tárgyak előállításának gyakran szükséges lépése a rögzítés, a kötés, ami jelentős befolyással van a késztermék jellemzőire. Mivel a gyártás tisztaságával kapcsolatos követelmények egyre nőnek, folyamatos fejlődésen kell átmennie a kötés-technológiáknak is. Az ilyen berendezések gyártóinak tekintettel kell lenniük az energiaigényre, a környezetvédelmi és ergonómiai szempontokra is.

Az autóiparban a hegesztést gyakran használják a közegeket továbbító berendezésekben és alkatrészekben, ahol nem jön számításba a felület utólagos tisztítása, ezért már magát a rögzítési eljárást kell úgy megoldani, hogy ne keletkezzenek mechanikus szennyeződések. Az egyéb tekintetben előnyös dörzshegesztésnél szinte elkerülhetetlen a kopási részecskék kialakulása, ezért ezt a módszert gyakran kombinálják pl. ultrahangos előmelegítéssel. Ilyen beépíthető előlágú segédberendezéseket kínál többek között a **Branson Ultraschall**, a **Bielomatik** vagy a **KLN Ultraschall AG**. Ezzel elkerülhető a kopásból származó részecskék képződése. Lehetőség van infravörös előmelegítésre is fémfóliás, kontúrkövető sugárzók segítségével. Ha a dörzshegesztés már előmelegített állapotban történik, tisztábbá és gyorsabbá válik a folyamat.

A hegesztési varrat tisztasága mellett egyre fontosabbá válnak a környezetvédelmi szempontok is. A Branson Ultraschall és a **Baum Kunststoffverbindungstechnik** cég emiatt fejlesztette ki a teljesen villamos meghajtású dörzshegesztő berendezéseket, amelyekben hidraulikus helyett szervomotoros meghajtást alkalmaznak. A nagyobb pontosság mellett ennek előnye az ütemre történő működtetés lehetősége. Nincs szükség rendszeres olajcserére és csökken a zajkibocsátás is. A Branson Ultraschall *M sorozatú dörzshegesztő berendezései* nagyobb felületek megmunkálására is alkalmasak, a rezgési amplitudó 0,9 és 4,0 mm között változtatható. A **Telsonic Ultrasonics AG** torziós dörzshegesztést kombinál ultrahanggal. A 20 kHz-es ultrahangot egy szonotróda segítségével juttatják el az előmelegítendő felületre. A nagy energiabevitel 1 s-nál rövidebb idő alatt meglágyítja a felszínt, és a szonotróda azonnal kiindulási állapotba kerül. A műanyag meglágyulását a belső súrlódás és határfelületek közötti súrlódás együttesen okozza. Az így hegesztett termékek esetében az alsó hegesztett alkatrészt alig kell mozgatni, így az érzékeny, pl. integrált elektronikát is tartalmazó termékek megmunkálására is használható.

## Érintésmentes kötés

A lézeres hegesztés egyszerre felel meg a rendkívüli tisztasági és környezetvédelmi igényeknek. Az érintésmentes melegítési módszer miatt a hegesztett alkatrész mechanikai igénybevétele minimális. A szigorúan lokális melegedés csökkenti a termikus igénybevételeket, és szép hegesztési varratot biztosít. A **Laserline GmbH LDM 3000-100** berendezése egy kompakt, szálcsatolású diódalézer rendszer, amelynek teljesítménye 3000 W. Ez a nagy teljesítmény jól használható üvegszál anyagok, pl. szalagfektetés és tekerceselés esetében. A **Coherent GmbH** léghűtéses, helyszínen rögzíthető alkalmazható diódalézeres rendszert fejlesztett ki. A megmunkálási hőmérséklet,

az áram és az impulzusszélesség egyenként vezérelhető. Ezzel a módszerrel jól hegeszthetők pl. a gépkocsik hátsó világítótestei, ahol nagy követelmények vannak a hegesztési varratok optikai minőségével szemben. Erre a **Leister Process Technologies** és az **LPFK Laser & Electronics AG** két különböző koncepciót dolgozott ki. A Leister a **Novolas Basic AT** kompakt léghűtéses berendezése mellett a *Globo Welding* nevű berendezést is használja a komplex 3D hegesztési varratok előállítására. Ebben van egy légcsapágyas üveggolyó, amely a lézertényt a fókuszsíkra fókuszálja. A LKFP a *TwinWeld* hibrid hegesztési eljárást alkalmazza, ahol a lézertény egy melegített térben hat és így kiszélesíti a feldolgozási ablakot, nő a hegesztés sebessége, nincs szűkség utólagos temperálásra.

A **BASF** olyan PBT típust hozott piacra, amelyet speciálisan lézerhegesztéshez fejlesztettek ki. A PBT sok autópári alkalmazásban szinte pótolhatatlan. Hátránya más, részben kristályos polimerekkel szemben, hogy erősen szórja a lézertényt, ezért kiszélesíti a hegesztősugarat. Az új *Ultradur LUX* nagyon finom kristályokat tartalmaz, amelyek kevésbé szórják a fényt, aminek hatására a fényáteresztés 30%-ról 60%-ra nő. Ennek hatására kevésbé szélesedik ki a hegesztősugár, ezért vastagabb rétegek is átvilágíthatók, másrészt gyorsabban és kisebb lézerteljesítménnyel is elvégezhető a hegesztés. Ennek gazdaságossági és környezetvédelmi előnyei vannak.

A különböző műanyagok egymáshoz történő hegesztése a korlátozott keveredés miatt általában nem sikeres. Az **Aachen-i Műanyagfeldolgozási Intézet (IKV)** továbbfejlesztette a köztes réteget alkalmazó módszert, amellyel lézersugár felhasználásával *nem egyforma műanyagok is összehegeszthetők*. Ehhez többretegű köztes fóliát használnak. Az alsó réteg játssza el az abszorbeáló anyag szerepét, a felső pedig hozzátapad a pigmentált hőre lágyuló műanyaghoz.

A lézeres hegesztés módosítható úgy is, hogy átlátszó rétegek is hegeszthetők legyenek egymással. Ha figyelembe vesszük a polimerek elnyelési sajátosságait és ehhez igazítjuk a lézer hullámhosszát, IR abszorbens adalékok nélkül is kielégítő elnyelés alakulhat ki.

## Ciklusidő csökkentése

Mindig fontos volt a hegesztési eljárások gazdaságossága, ezen belül a ciklusidő kérdése. Az egyik leggyorsabb hegesztési módszer az ultrahangos, de a segédműveletek ideje jóval hosszabb, mint más módszerek esetében. Ezen próbál segíteni a **Hermann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG** automata hegesztősora, amely egy sor segédműveletet is automatizál, ezzel csökkentve a ciklusidőket. Ez nemcsak a gyorsaságot, hanem a hegesztés pontosságát is növeli. Pneumatikus meghajtással lehetővé teszik, hogy a hegesztési folyamatot tetszés szerinti ponton indítsák meg. A szonotróda megfelelően kíméletes felhelyezésével érzékeny varratgeometriák is károsodás nélkül előállíthatók. A **Weber Ultrasonics GmbH** az erővezérlés finom programozásával csökkenti az ultrahangos hegesztés ciklusidejét. A proporcionális szelepek alkalmazása lehetővé teszi a darabok kisebb erővel történő befogását. A hegesztőszerszámokon



elhelyezett vonalkódok segítségével a berendezésen automatikusan beállítható egy sor fontos hegesztési paraméter.

## **Fűtőelemes nyereghegesztés**

A **Widos Wilhelm Dommès Söhne GmbH** fűtőelemes nyereghegesztési módszer dolgozott ki különböző átmérőjű műanyag csövek T-idomainak hegesztéséhez. A hegesztés előtt tolható speciális vágóelemekkel ellátott villamos fűróberendezést helyeznek a csőre. A szükséges csőméret folyamatosan változtatható. A módszer előnye a rugalmas fűtőelem alkalmazása, ami lehetővé teszi a pontos illeszkedést különböző felületekre is. A hegesztett felületen a fűtőelemet tapadásgátló réteggel látták el. A módszer alkalmazható mind sorozatgyártásban, mind helyszíni szerelésnél.

## **Ergonómia a kézi hegesztésnél**

Az automatizált hegesztési eljárások mellett számos *kézi hegesztőgép* is elérhető. Ezeknél egyre jobban figyelembe veszik a felhasználhatóságot és a dolgozó kényelmét. Az extrudált hegesztőzsinórt használó hegesztőgépeknél már olyan könnyű (1 kg) szerkezeteket is sikerült kialakítani, amelyek nagy teljesítményűek (6 kg/h), de egy kézzel is kezelhetők, és készültek két extrudert párhuzamosan használó egységek is, amelyek nagyobb kihozatali teljesítményt nyújtanak. Az extrudersiga megválasztásával elérhető, hogy PVC, PE vagy PP feldolgozására is alkalmas legyen.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
[www.polygon-consulting.ini.hu](http://www.polygon-consulting.ini.hu)

Die Wahl des richtigen Schweißverfahrens = K-Zeitung, 42. k. 15. sz. 2011. p. 14.  
van Aaken, A., Weber, M.: Nachhaltig und sauber verschmelzen = Kunststoffe, 100. k. 12. sz. 2010. p. 73–76.

---

### *Egyéb irodalom*

Chung, Y.; Kamal, M. R.: Morphology of PA 6 vibration welded joints and its effect on weld strength (Vibrációsan hegesztett PA 6 kötések és hatásuk a hegesztési szilárdságra) = Polymer Engineering and Science, 48. k. 2. sz. 2008. p. 240–248.  
Patham, B; Foss, P. H.: Thermoplastic vibration welding: review of process phenomenology and processing structure property interrelationships (Termoplasztok vibrációs hegesztése: a folyamat áttekintése, szerkezet és tulajdonságok közötti összefüggés) = Polymer Engineering and Science, 51. k. 1. sz. 2011. p. 1–20.

[www.quattroplast.hu](http://www.quattroplast.hu)