

## Műanyagok hegesztése lézersugárral

*Tárgyszavak: alapelvek; alkalmas lézerek és műanyagok; színek hatása; előnyök; gyártók; berendezések; gépkocsigyártás; reflektortisztító; polipropilén; lézeres hegesztés.*

Előrejelzések szerint rövid időn belül a műanyagok hegesztésének 10%-át lézersugárral fogják végezni. Ezt az eljárást már ma is alkalmazzák az orvostechikában, az autógyártásban, az elektronikában és a háztartási gépek előállításában. Jelenleg az a folyamat figyelhető meg, hogy a laboratóriumi kísérleti lézeres hegesztőberendezések helyett egyre inkább az ipari tömegtermelést szolgáló berendezések jelennek meg a gyártók kínálatában.

A következőkben bemutatjuk a lézeres hegesztés alapelveit, majd egy autóiipari példát ismertetünk ennek a technológiának az alkalmazására.

### A lézeres hegesztés alapelvei

Lézeres hegesztéskor legtöbbször az ún. *átlapoló hegesztést* alkalmaznak. A lézeres hegesztés előfeltétele, hogy a hegesztendő darabok különböző mértékben legyenek átjárhatóak a lézersugár számára. A felső, „átlátszó” darabon áthatoló sugár az alsó darab felületi rétegében elnyelődik, a besugárzott helyeken felmelegíti és megömleszti a polimert, az ömledék pedig a vele érintkező másik polimert. A két műanyagfelület összeheged. Mivel a megolvadt polimer mennyisége kevés, a két darab közötti résznek nagyon kicsinek kell lennie (azaz a darabokat kis túréssal kell gyártani és pozicionálásukat nagy pontossággal kell elvégezni), hogy az ömledék kitölthesse azt. A fűtőelemes, vibrációs vagy ultrahangos hegesztéshez képest nagyon kis térfogatú és csak a legfelső 10–100 µm-es rétegre kiterjedő ömledéknek köszönhető, hogy a hegesztés nagyon tiszta, nem keletkezik durva hegesztési varrat, és a külső felületen sem beszívódás, sem másféle optikai nyom nem észlelhető. Ha a leggyakoribb kontúrhegesztéskor 1–2 mm széles hegesztési varratot terveznek, maximálisan 100 µm-es, ennél keskenyebb hegesztési varrat igényekor arányosan szűkebb rész engedhető meg az összehegesztendő felületek között.

## Felhasználható lézerek és műanyagok

A hegesztéshez használt lézerek hullámhossza a látható fény hullámhosszán kívül, a közeli infravörös tartományba esik (808, 940 vagy 1064 nm). Ezek közül kell a hegesztendő darabok abszorpciós spektrumának legjobban megfelelő lézert kiválasztani. Az abszorpciós spektrum erősen befolyásolható a polimerbe kevert pigmenttel. *A szín erősen hat a hegesztésre, amely általában a következő színpárok során egyre nehezebben végezhető el (az első színen áthatol, a másodikban elnyelődik a lézersugár):*

*átlátszó/fekete → fekete/fekete → színes/fekete → 1. szín/2. szín →  
1. szín/1. szín → átlátszó/átlátszó → fehér/fehér*

Majdnem valamennyi hőre lágyuló műanyag és hőre lágyuló elasztomer hegeszthető lézersugárral, gyakran akkor is, ha 30%-nál nem több üvegszálat tartalmaz. Különböző polimerek is összehegeszthetők, ha ömledékük elegendik egymással (a két polimer kompatibilis).

Az optimális lézersugár kiválasztásakor a pigmenten kívül figyelembe kell venni a hegesztési varrat kívánt szélességét is. Ha ez vékonyabb, mint 1 mm, és pásztázófejjel dolgoznak (ilyenkor általában síkfelületen végzik a hegesztést), Nd:YAG-lézert célszerű használni. Szélesebb varrathoz és görbült felületekhez vagy pontszerű hegesztéshez alkalmasabbak a diódalézerek.

## A lézeres hegesztés előnyei

*A ipari lézeres hegesztések háromnegyedét 50 W körüli teljesítménnyel végzik, néhány másodperces ütemidővel, de gyakori az 1 s-on belüli hegesztési idő is. Az eljárásnak számos előnye van a ragasztással, az ultrahangos, vibrációs vagy fűtőelemes hegesztéssel szemben. Ezek közül ki lehet emelni a jó minőséget, a rugalmasságot és a kötések megbízhatóságát. A hegesztés alatt nem képződnek mikrorészecskék. A polimer megolvasztáshoz szükséges energiát csak a hegesztendő felületben nyelik el, ezért zárt, tömör formadarabok is összehegeszthetők, és a hegesztési varratot hőérzékeny elemek közvetlen közelében is ki lehet alakítani. Az olvadék nem jut ki a felületre, ezért nem változtatja meg a darab eredeti méreteit.*

*A lézersugár a legrugalmasabb feldolgozószerszám, amely tetszés szerinti vonal mentén vezethető, és rövid idő alatt teljesen új formák létrehozására alkalmas. Mivel érintésmentesen dolgozik, nem kopik el. Hegesztés előtt a hegesztendő darabok semmiféle előkezelést nem igényelnek. Tapasztalatok szerint lézeres hegesztéskor a selejt csak töredéke a más eljárásoknál kapott hibás kötéseknél.*

## Lézeres hegesztőberendezések

A lézeres berendezéseket gyártó **Rofin/Baasel Lasertech** és a színezékkoncentrátumokat előállító **Treffert** cég közösen fejlesztette a különböző színű műanyagpárok hegesztésére alkalmas hegesztőberendezéseket és hegesztési technológiákat. Ennek eredménye a Rofin/Basel cég (Starnberg, Németország) „*StarWeld Diode*” nevű termékcsaládja, amely 808 és 940 nm hullámhosszú diódalézert és 1064 nm hullámhosszú Nd:YAG lézert tartalmaz. Teljesítményük 150 W-ig terjed, ami bőségesen elég bármilyen ipari alkalmazáshoz. A berendezések rögzített optikával és pásztázófejjel is működhetnek. A berendezések *HQ* (high quality) típusa a legszigorúbb igényeket kielégítő lézersugárral dolgozik; a *HP* típusú berendezések jellemzője a nagy hegesztési sebesség. Pásztázófej vagy pirométer alkalmazásakor a minőségellenőrzést folyadék-kristályos képernyő segíti.

## Polipropilén gépkocsialkatrészek nyommentes összehegesztése lézersugárral

Az újabb gépkocsik belső terében és külső részén is többféle PP-ből készített elemeket alkalmaznak, amelyeket nem azonos PP-típusból gyártanak, és amelyeket megbízhatóan és esztétikusan össze kell építeni egymással. A *Volkswagen Touareg* típusú gépkocsin a lökhárító fedőburkolatának mindkét oldalára egy-egy *reflektortisztító* eszközt terveztek, amelyet a burkolat belső oldalán, a felfüggesztő szerkezet fedelére erősített keret segítségével rögzítenek. *A burkolat A osztályú külső felületén a rögzítésnek semmiféle nyoma nem jelenhet meg.* A töltött polipropilénből készített elemek összeépítéséhez szóba jöhetne a vibrációs vagy az ultrahangos hegesztés, a szegecseles, a ragasztás és a lézersugaras hegesztés. Az utolsó két eljárással elkerülhető a kötési nyom a külső felületen. A ragasztást azonban nem találták gazdaságosnak a tervezők. Ezért a lézeres hegesztés, ezen belül a kontúrhegesztés mellett döntöttek, mert ezzel a technológiával viszik be a legkevesebb hőt az anyagba, és a folyamat jól szabályozható. Mivel műanyagok lézeres hegesztését eddig sorozatgyártásban nem alkalmazták, ki kellett fejleszteni a megfelelő technológiát és ennek alkalmazását a nagyméretű alkatrészekben.

## Az eljárás és az alapanyagok optimalizálása

A hegesztési technológiát a **Prolas Produktionslaser GmbH** (Würselen) dolgozta ki. Az előkísérletekhez egy ütközők gyártásához használt PP-T-10 típusú, lézersugarat elnyelő PP-t és az A. Schulmann cég lézersugarat át-eresztő, fekete színű Polyfort FPP 20 GFC SHH jelű polipropilénjét alkalmazták. Az előbbiből 3,2 mm, az utóbbiból 1,6 mm vastag próbatesteket fröccsöntöttek. Az átlapolással összehegesztett próbatesteken húzóvizsgálatokat vé-

gezték. Meghatározták azokat a hegesztési paramétereket, amelyekkel nagy hegesztési szilárdságot értek el beszívódási nyomok nélkül.

Mivel a kiválasztott anyagpárral csak nagyon szűk feldolgozási tartományban kaptak jó eredményeket, a töltött PP-keveréket alacsonyabb hőmérsékleten – 165 °C-on – olvadó polimerrel készítették el. Ezzel jobb hőátadást és jobb réskitöltést értek el.

A cégnél kifejlesztett *Weldcontrol* nevű berendezéssel hegesztés közben méri a hegesztendő résben a hőszigetelést és az anyagra ható lézerteljesítményt. A mért értékeket a berendezés összehasonlítja az előírt értékekkel, és eltérés esetén a szabályozóegység elvégzi a szükséges módosításokat. Ilyen körülmények között már 50 W-nál kisebb teljesítménnyel is megfelelő szilárdságú hegesztéseket tudtak készíteni.

## Lézeres hegesztés a sorozatgyártásban

Az előkísérletek alapján elkészítették a gépkocsigyártáshoz alkalmas hegesztőkészüléket. A berendezést védőkamrába építették, amelyet lézercsapdával láttak el.

A lökhárító burkolatán lekerekített sarkú négyszög alakú nyílást vágnak ki. A burkolatot a hegesztőberendezés megfelelő alakú tartószerkezetébe fektetik, és a kivágott nyílás alatt található kis pneumatikus hengerre ráhelyezik a tisztítóeszköz tartókeretét, amely a lézersugár számára átjárható. A két pneumatikus henger oldalirányban elmozdítható, ezáltal a reflektortisztító eszközök nagy pontossággal kerülnek a szükséges helyre.

*Miközben összehegesztik a tartókeretet a felfüggesztő szerkezet fedelével, a hegesztőkészülék érzékelőrendszere felismeri a két darabon a hegesztési útvonalra eső kidobók nyomát, és ezeken a pontokon is biztonságos kötést hoz létre. Az előírt hőmérséklet- és teljesítményértéktől való eltérést a berendezés jelzi, és automatikusan kidobja a gyártósorról a selejtes alkatrészt.*

A lézeres hegesztés révén sikerült az alkatrészeket úgy összeépíteni, hogy azok a legszigorúbb mechanikai és optikai igényeket is kielégítik. *A hegesztés költségei hasonlóak más kötési eljárások költségeihez.* A Volkswagen Touareg gépkocsit már sorozatban gyártják, és a kifejlesztett lézeres hegesztést a jövőben más gépkocsitípusok gyártásába is bevezethetik.

**Pál Károlyné**

Tormen, A.: Laserschweissen von Kunststoffen. = Technische Rundschau, 96. k. 4. sz. 2004. febr. 4. p. 20–22.

Stier, Th.; Pösentrup, R. stb.: Polypropylen-Bauteile verbinden. = Kunststoffe, 93. k. 12. sz. 2003. p. 74–76.