

## Lézerhegesztés: tiszta és gyors technológia

A műanyagok lézersugárral történő hegesztését elsősorban igényes, műszaki és gyógyászati termékeknél alkalmazzák, mivel tiszta és gyors technológia, azonban a varratok kialakításánál gyakran speciális megoldásokat kell alkalmazni. A lézersugaras tükröshegesztés új módszere már kiküszöböli a korábbi hátrányokat és gazdaságosan alkalmazható.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; lézerhegesztés; PA6; PA66; PMMA; PC.*

A műanyagok lézeres hegesztése az 1990-es években kezdett elterjedni és mára számos műanyag-alkalmazásnál hasznosítják. Az eljárás teljesítményhatékony, az ilyen berendezések hosszú élettartamúak és kevés karbantartást igényelnek, ugyanakkor gyorsak és viszonylag kis helyet foglalnak el az üzemben.

A lézersugárral történő hegesztéshez egy olyan műanyagra van szükség, amelyen a lézersugár energiájának elnyelése nélkül áthaladhat, és egy másik, hasonló kémiai összetételű, de adalékanyagai miatt a lézersugár energiáját elnyelő polimer együttesére van szükség, amelyet a hegesztés során egymáshoz szorítanak. A különböző varratgeometriákhoz különböző megoldásokat fejlesztettek ki. Így például a kör-szimmetrikus varratokat, mint amelyeket az autók mágneses szelepeinél, vagy a gyógyászati folyadék tartó edényeknél használnak, homlokhegesztéssel lehet kialakítani. Azonban például a gyógyászatban használt tömlők végén a csatlakozásokat kerületi hegesztéssel lehet felerősíteni.

A körszimmetrikus varratok kialakításához általában a következő megoldásokat alkalmazzák:

- kontúr lézerhegesztés,
- kvázi-szimultán lézerhegesztés,
- szimultán lézerhegesztés.

## Homlokhegesztés

A kör alakú homlokvarratok kialakításánál a fókuszált lézersugár relatív elmozdulást végez az egymáshoz szorított egyesítendő darabokhoz képest. Ez megoldható egyhelyben álló lézeroptikával és a darab körbe-forgatásával, de mozgathatják az optikát is az álló darabok körül. E módszerrel általában, legfeljebb kb. 200 mm/s sebességgel lehet varratot kialakítani. Mindkét variációnál egy optikai pirométerrel ellenőrzik a hegesztési varrat hőmérsékletét, így a hegesztési folyamatot valós időben lehet figyelemmel kísérni. Mivel a hegesztés szekvenciálisan történik, a kvázi-szimultán és a szimultán hegesztéssel ellentétben, itt nem mozdul el egymáshoz képest a két összehegesztendő darab, tehát nem is lehet a hegesztési folyamatot erre az elmozdulásra vezérelni.

A kvázi-szimultán lézerhegesztésnél egy galvanometriai meghajtású pásztázó berendezést használnak. A munkadarabot egy „*F-Theta-Optika*” munkaterébe helyezik (ez egy síkmező optika, amelynél a pásztázási hossz kb. a pásztázási szöggel arányosan fut le). A pásztázót pozicionálják, majd összeszorítják a darabokat. A kör alakú kontúrt ezután nagy mozgatási sebességű (~3000 mm/s) lézersugár pásztázással alakítják ki, többszöri (pl. 30-100) körbepásztázással, melynek során a lézersugarat elnyelő műanyag fél úgy viselkedik, mintha a varrat teljes kontúrját egy időben hevítettük volna fel. A normál kontúrhegesztéssel ellentétben, ez a módszer az ultrahangos hegesztéshez hasonlóan az összehegedő részek kismértékű elmozdulását eredményezi. Ezt az elmozdulás megfelelő érzékelőkkel követni lehet, és erre a paraméterrel vezérlik a berendezést. Technikai okokból a hegedési varrat hőmérsékletét csak nehézkesen, korlátozottan lehet nyomon követni, és csak kb. 500 mm/s-ig lehet szabályozásra használni.

Egy, a lézersugarakat alakító optikával – mint pl. az Axicon-ok (~tengelykúp) – a pontoszerű lézersugarat egy gyűrű alakú sugárzássá lehet átalakítani, amelynek elég nagy az intenzitása a műanyag megolvasztásához. Ezt az eljárást nevezik szimultán lézerhegesztésnek. A kvázi-szimultán lézerhegesztéshez hasonlóan, itt is a két összehegesztendő darab megolvadás okozta elmozdulását használják a folyamat vezérléséhez. Pirométeres varrat hőmérsékletmérést itt nem lehet alkalmazni, mivel az pontokat mér és nem az egész varrathosszt egy időben.

## Az eljárás előnyei és hátrányai

Az, hogy a kör alakú varrat kialakításához a fenti három módszer közül melyiket alkalmazzák, több tényező együttesen határozza meg. Ilyen tényező a darabok geometriája, a formák sokfélesége, a darabszám, a minőség-ellenőrzéssel kapcsolatos követelmények és természetesen a gazdaságosság.

- A *kontúreljárást* akkor használják, ha egy gyártási sarzson belül nincs geometriai változás, és a minőség követését egy pirométerrel kell megoldani. Az ilyen berendezés nem túl drága, egy egyszerű SPS vezérléssel megoldható.
- A formaváltozásokra rugalmasabban reagál a *kvázi-szimultán hegesztés galvanometriás pásztázási vezérléssel*. Itt lehetséges egyszerű grafikus programozást végrehajtani a hegesztési varrat kontúrjának geometriájához és a folyamat paraméterek gyorsan átállíthatók. Szintén lehetséges egy blokkban lévő több alkatrész összehegesztése is, úgyhogy a darabok behelyezési és eltávolítási ideje lerövidíthető.
- Amikor az összehegesztendő daraboknak azonos a varratgeometriájuk és nagyon nagy darabszámokra van szükség, gazdaságos lesz a *szimultán lézerhegesztés körtranszformációs optikai rendszerével*. Itt az előnyt az jelenti, hogy nincsenek mozgó alkatrészek a rendszerben, miáltal az alkatrészeket mozgó tengelyek kopásából eredő problémák elkerülhetők. Az eljárás azonban nem változtatható rugalmasan a darabok geometriájának változásainál, egy ilyen átállás egy új optika kifejlesztését igényli.

## Kerületi hegesztés

A kerületi hegesztésnél a lézersugár számára áteresztő műanyag termék kívül, az elnyelő munkadarab egy része pedig ennek belsejében foglal helyet. Az illesztésnek olyannak kell len-

nie, hogy a belső darab egy nagyon kis mértékben nagyobb átmérőjű legyen, hogy a külső és a belső darab szorosan, feszítve illeszkedjen egymáshoz. Ezután a homlokhegesztéshez hasonló módon lehet oldalról, az átfedés területénél lézersugárral összehegeszteni a darabokat.

Itt is mindhárom, a korábbiakban ismertetett módszer alkalmazható. Azonban tipikusan a fix elhelyezésű lézersugár alkalmazása mellett a terméket forgatják annak hossz tengelye körül. A ritkábban alkalmazott kvázi-szimultán és szimultán lézerhegesztésnél azonban ebben az esetben nem lehet a két termék relatív elmozdulásának mérésére támaszkodni, mivel ez nem következik be. A kontúrhegesztési eljárásnál a hegesztés sebessége elérheti az 500 mm/s értéket, és pirométerrel lehet a varrat hőmérsékletét ellenőrizni. A sebességet meghatározó lépést a hegesztendő darabok be- és kiemelése, rögzítése és feloldása jelenti.

A kvázi-szimultán lézerhegesztés is alkalmazható kerületi hegesztéshez. Ilyenkor a lézersugár a megfelelően kialakított, mozgó optikával pásztázza nagy sebességgel a hegesztési varratot. A kvázi-szimultán lézerhegesztés egy másik változatánál egy speciális megmunkálási optikát, az *LLDrop* optikát alkalmazzák, ahol a tükör- és lencse-rendszert egy mechanikailag stabil karra szerelik, amely a forgatónyomaték szempontjából stabilizálva egy gyorsan forgó tengelyre van felszerelve. A forgatás fordulatszáma elérheti az 1000 rpm értéket, és így a lézersugár ennek megfelelő számú pásztázást hajt végre. A lézersugarat centrikusan, a forgási tengellyel együtt mozgó tükör által irányítják. A rendszerrel együtt mozgó konzolra szerelt lencsék fókuszálják a lézersugarat, amelyet további tükrök vetítenek a hegesztési varratra. A sugár kollimációját egy pirométerrel ellenőrzik, amely a lézersugárral koaxiálisan elhelyezkedve méri a sugár és a műanyag kölcsönhatásából fejlődő hőszugárzás mértékét. Ezáltal az eljárás sebességétől függő módon lehetséges a varrat minőség-ellenőrzése.

Speciális, körben elhelyezett optikával megoldható a kerületi hegesztés szimultán lézerhegesztéssel is. Ennek segítségével a pontszerű lézersugarat egy körgyűrűvé alakítják, és ezt a megfelelő távolságra fókuszálva rávetítik a hegesztési varratra. A teljes optikai rendszert egy kompakt burkolatba szerelik

A homlokhegesztéshez hasonlóan, a módszer kiválasztásánál itt is figyelembe kell venni a termék geometriáját, a kialakítás változatosságát, a darabszámot, a minőség-ellenőrzés követelményeit és természetesen az eljárás gazdaságosságát.

## Lézersugaras tükörhegesztés

Amikor az 1990-es években elkezdtek használni a lézersugaras hegesztést, megpróbálkoztak az azonos anyagú, a lézersugár energiáját elnyelő darabok „tükörhegesztésével” is. Azonban a lézersugarat el nem nyelő anyagon áthatoló, és az alatta lévő elnyelő adalékokat tartalmazó megoldásoktól (ld. fentiek) eltérően ez az eljárás nem volt gazdaságilag sikeres. Ugyanis ehhez az kellett, hogy a két darabot a felmelegítés után összeszorító mozgató tárgyasztalhoz rögzített darab közé, a rendszer szétnyitott állapotában két tükröt helyeznek el, amelyek a merőlegesen beérkező lézersugarat 90 °-os irányváltással a felmelegítendő felületekre irányítják. Mivel itt nem pontszerű, hanem viszonylag nagy felületek felhevítéséről van szó, a tükrökre beeső lézersugarat, a kvázi-szimultán lézerhegesztéshez hasonló módon, folyamatosan pásztázó optikával kellett a megfelelő irányokba folyamatosan mozgatni, hogy az, gyors egymásutánban, ismételten végighaladjon a megolvasztandó felületeken. A pásztázási sebesség elérhette a 10 m/s értéket is. Azonban akkoriban csak kevés fajta és drága dióda lézer (ált. Nd:YAG) állt rendelkezésre és a nagy teljesítmény (100–400 W, de <5% hatásfok) miatt a

lézersugár pásztázását biztosító optikai tükröket (vízzel) hűteni kellett. Ráadásul a darabok között elhelyezett tükrökre gyakran a darabokból a felmelegítés hatására kilépő anyagok lera-kódtak, és ha a gyakori karbantartás elmaradt, ez időnként be is gyulladt. A pásztázás megoldása is drága, és az akkori számítástechnikai fejlettség mellett nehézkesen megoldható, nem túl pontos és kevésbé reprodukálható volt.

## A Turn2Weld eljárás

A tükröhegesztést sokáig inkább forrólevegős és infrasugárzó elemekkel oldották meg. Azonban nemrég piacra lépett a BIELOMATIK cég által kifejlesztett *Turn2Weld* (az angol szójáték szerint: „varrattá változtat”) berendezés, amely a fentiekben felsorolt problémákat jórészt kiküszöböli. Itt a pásztázást nem bonyolult optika, hanem a két befogószerkezet szervomotorok által végzett folyamatos mozgatásával oldják meg. A pásztázó optika elhagyása és a pozicionálás pontosságának feljavítása jelentős műszaki és gazdasági előnyökkel jár. A *Turn2Weld* eljárás is, az eredeti lézeres tükröhegesztéshez hasonlóan, egy kétlépcsős eljárás, melynek során az első lépésben megtörténik a hegesztendő felületek megolvasztása, majd pedig a darabok összeszorításával létrejön a hegedési varrat (a hagyományos tükröhegesztéssel azonos módon, itt is kis anyag kitüremkedés lép fel a varratnál). A megolvasztási fázisban a szervomotor 90°-kal elfordítja a hegesztendő darabot a lézersugár irányába. A méretektől függően bármely darabot 1,5 s-on belül sikerül pozicionálni.

Ahhoz, hogy egy meglehetősen nagy hegedési felület megolvadjon, és az anyag- és geometriai különbségeket kompenzálni lehessen, mindkét összehegesztendő darabhoz egy-egy külön lézert használnak. Az anyagtól és méretektől függően különböző lézereket lehet alkalmazni. A feketére színezett (ált. korommal) műanyagokhoz diódalézereket használnak. A szén-dioxid lézerek segítségével az olyan átlátszó anyagokból fröccsöntött darabokat is össze lehet hegeszteni, mint a PMMA és a polikarbonát. Lehetséges a dióda és a szén-dioxid lézerek kombinációja is, ha egy átlátszó és egy fedett darabot kell összehegeszteni. Jelenleg 400x400 mm munkaterületű tárgyasztalokkal dolgozó berendezéseket gyártanak. Az adott műanyaghoz és termékhez igazított teljesítménygörbe alapján olvasztják meg az anyagot, figyelembe véve a hőátvitelt, az ömledékréteg vastagságát és a folyamat időigényét.

A *Turn2Weld* eljáráshoz a lézerek mellett minden termékhez egyedileg készített befogószerkezeteket kell készíteni. A lézerprogram egy egyszerű programváltással cserélhető. A módszer korlátait a hegesztési varrat hossza jelenti, mivel nagyon hosszú hegedési varratokat így nem lehet létrehozni. Minél hosszabb ugyanis egy varrat, annál nagyobb lézerteljesítményre van szükség. Az adott berendezéssel elérhető maximális varrathossz függ a termék geometriájának komplexitásától is, mivel ez az eljárást lelassítja.

A *Turn2Weld* eljárás a minőség-ellenőrzés terén is előnyös más módszerekhez képest, mivel itt egy infrakamera segítségével folyamatosan monitorozható a hegedési felület hőmérséklete. Az olyan eljárásoknál ugyanis, ahol a felhevítést létrehozó hőforrás eltakarja a felhevítendő részeket, legfeljebb csak pillanatfelvételt lehet készíteni a folyamat végén.

Összeállította: Dr. Füzes László

Klein R.: Rund gefügt = Kunststoffe, 8. sz. 2018. p.74–76.

Class C., Greif M., Beiß T.: Von den Enden her geschweißt = Kunststoffe, 6. sz. 2019. p.23–25.