

Műanyagok lézeres hegesztése kváziszimultán eljárással

A műanyagok összeépítéséhez egyre népszerűbb lézeres hegesztésnek egy új módszere a kváziszimultán hegesztés, amelyet a kontúrhegesztés és a szimultán hegesztés elvének társításával fejlesztettek ki. Ennek optimális paramétereit tanulmányozta egy német kutatócsoport.

Tárgyszavak: műanyagok hegesztése; lézertechnika; kváziszimultán hegesztés.

A lézeres hegesztést egyre gyakrabban alkalmazzák a műanyagból készített darabok összeépítésére, mert az ultrahangos vagy a vibrációs hegesztéssel ellentétben nem károsítja az érzékeny betéteket, pl. az elektronikus komponenseket. Lézersugárral is lehet hagyományos, felületen látható (közvetlen vagy tompa) hegesztést végezni, de gyakrabban hegesztenek össze két műanyag formadarabot úgy, hogy a kötés az egyesített darabok belsejében, nem látható felületek között jön létre (transzmissziós vagy közvetett hegesztés). Az utóbbi esetben a hegesztésnek nincs látható nyoma. Mind a tompa, mind pedig transzmissziós hegesztéskor geometriai pontossággal a lézersugár fókuszában melegszik fel az anyag, és legalább az egyik egészen olvadáspontjáig. A transzmissziós hegesztéskor a lézersugarat átengedő anyagnak a lézersugár számára „átlátszónak” kell lennie, a másik viszont elnyeli a sugárzást és a hőelnyelés következtében olvad meg; az átlátszó anyagot a hőátadás melegíti fel annyira, hogy nyomás alatt a két anyag összeheged.

A kivitelezés szerint megkülönböztetik a körvonal menti (kontúr) és az egyidejű (szimultán) hegesztést. Kontúrhegesztésnél a lézersugarat adott pontra fókuszálják, és programvezérléssel vezetik végig ezt a pontot a kijelölt pályán. Szimultán hegesztésénél egyidejűleg több lézerforrást alkalmaznak és egyidejűleg melegítik el a teljes hegesztési pályát. Ilyenkor a lézersugár és a megcélzott felület nem mozdul el egymástól.

A **Bielomatic** cég a két eljárást egyesítve mutatta be az ún. *kváziszimultán eljárást*, amelyben a lézersugár a hegesztési pályán halad végig egy gyors, 1000 mm/s-nál nagyobb sebességű letapogató tükör segítségével. A gyors mozgás következtében az érintkező felületeket másodpercenként 40-szer pásztázza végig, vagyis az egész felület egyszerre melegíti és plasztikálja a pontszerű lézersugárral.

A hegesztést általában előre meghatározott állandó nyomás alatt végzik el. Mivel a kváziszimultán hegesztéskor a teljes hegesztendő felület egyidejűleg melegszik fel, a két hegesztendő darab közötti elmozdulás is egy irányú. Ennek következtében a

felületek egyenetlenségei áthidalódnak. A kváziszimultán hegesztés alatt négy fázis különböztethető meg:

1. a felmelegedés fázisa, amikor a hegesztési mélység a hőtágulás miatt kis negatív érték is lehet,
2. a hegesztési mélység növekedésének nem folyamatos fázisa,
3. a hegesztési mélység növekedésének folyamatos fázisa,
4. a hűtés fázisa.

A vibrációs és a fűtőelemes hegesztésnél megfigyeltekhez hasonlóan a túl nagy hegesztési nyomás a lézeres hegesztés varratszilárdságát is csökkenti. Ez készítetett egy német kutatócsoportot arra, hogy megvizsgálja a hegesztési nyomás hatását a kváziszimultán lézeres hegesztés szilárdságára.

A nyomás hatása a hegesztési varrat szilárdságára

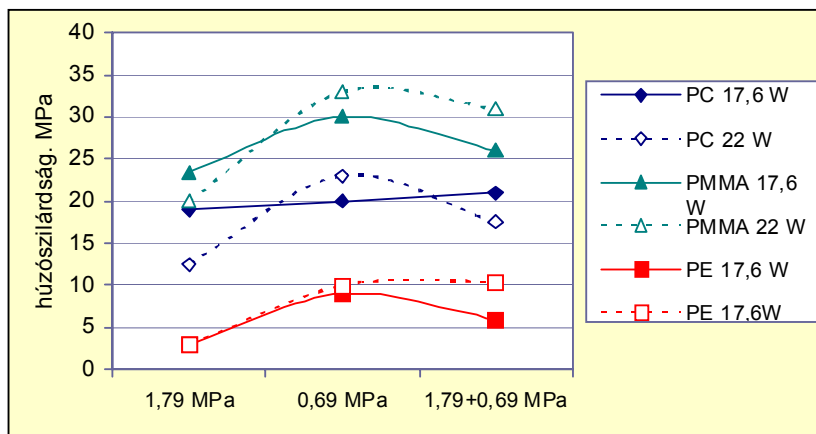
A kutatócsoport abból indult ki, hogy a hegesztés alatt olyan nyomásprofil kellene alkalmazni, amely a kezdeti szakaszban nagyobb nyomást közvetít a hegesztendő felületek jobb érintkezéséhez, a második szakaszban viszont, ahol a két műanyag ömledéke egymásba hatol, kisebb nyomás által lassítja, ezáltal alaposabbá teszi az ömledékek keveredését és a növeli hegesztési varrat szilárdságát.

A kísérletekben polikarbonátot (PC), poli(metil-metakrilát)-ot (PMMA), polikarbonát + akril-butadién-sztirol keverékét (PC+ABS), polipropilént (PP) és polietilént (PE) alkalmaztak. Az eredetileg a lézersugár számára átlátszó polimerek abszorpciós képességét 0,1% korom hozzákeverésével növelték. A műanyagokból az Amerikai Hegesztési Társaság (AWS, American Welding Society) ultrahangos hegesztések ellenőrzéséhez előírt próbatestformáját (T-keresztmetszetű profilokat) fröccsöntötték, amelyeket a „T” szarának alsó pontján egymással szemben hegesztettek össze. A hegesztéshez a **Kunststofftechnik Paderborn** és a **Bielomatic** cég közösen épített hegesztőberendezését használták, amely kontúr és kváziszimultán hegesztéshez egyaránt alkalmazható. A sugárforrás 1064 nm-es hullámhosszon folyamatosan dolgozó, 75 W teljesítményű Nd:YAG lézer volt. Az üvegszálból kilépő lézersugarat pásztázó tükörrel irányították a hegesztendő felületre, a fókuszált lézersugár itt 2,5 mm átmérőjű kört fedett le. A nyomásfokozatokat (1,79, ill. 0,67 MPa) idő által vezérelt pneumatikus rendszer szabályozta. A próbatesteket 17,6, ill. 22 W teljesítményű lézersugárral hegesztették; a lézersugár a hegesztési pályán percenként 40-szer haladt végig. A fényforrást 1,2 mm hegesztési mélység elérésekor kapcsolták ki. A hegesztés szilárdságát *DIN EN ISO 527* szabvány szerint 50 mm/min sebességű húzóvizsgálattal mérték.

A 17,6 W lézerteljesítménnyel hegesztett PP próbatestek hegesztési mélységének időfüggését az *1. ábra* mutatja. 7–7 próbatestet konstans 1,79 MPa, ill. 0,69 MPa hegesztési nyomással, további hetet pedig az első fázisban 1,79 MPa, a második fázistól kezdve 0,69 MPa nyomással hegesztettek össze. A konstans 1,79 MPa hegesztési nyomással készített próbatestek végső hegesztési mélysége (1,4 mm) nagyobb volt a 0,69 MPa nyomással hegesztett próbatestekénél (1,2 mm), ami abból adódott, hogy a

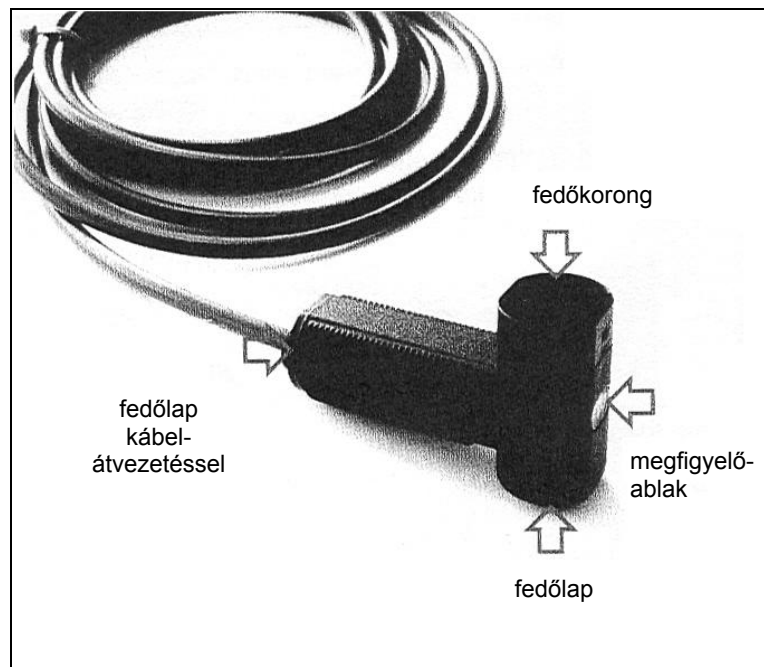
A 2. ábrán a PP próbatetek húzószilárdsága látható. A törés minden esetben a hegesztésnél következett be, és egyik érték sem érte el a PP alapanyag szakítószilárdságát. A hegesztési nyomás csökkenése mindkét lézerteljesítmény mellett növelte a hegesztési szilárdságot, a két nyomásfokozattal hegesztett próbatetek szilárdsága pedig ezekénél is nagyobb volt. Az utóbbiak szilárdsága 46%-kal (17,6 W lézerteljesítmény), ill. 42%-kal (22 W lézerteljesítmény) haladta meg a konstans 1,79 MPa nyomással hegesztett próbatetek húzószilárdságát.

A 3. ábra a többi műanyag hegesztett próbatestjeinek húzószilárdságát mutatja a hegesztési paraméterek függvényében. Ezekből nem vonhatók le olyan egyértelmű következtetések, mint a PP-nél. A hegesztési nyomás csökkentésével itt is minden esetben nő a húzószilárdság, a kétfokozatú nyomás előnye azonban nem egyértelmű.



3. ábra

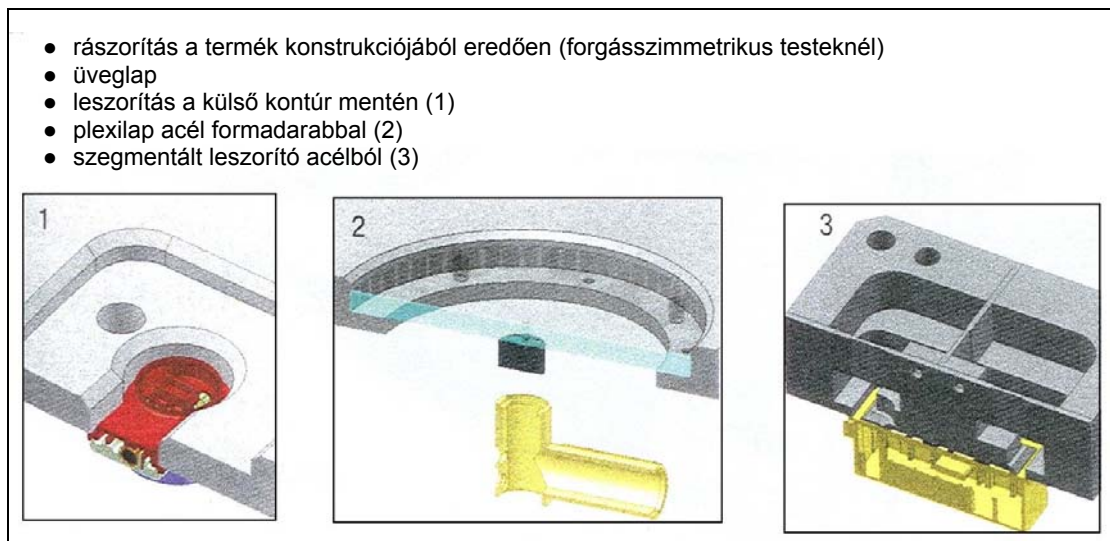
A különböző hegesztési nyomással és lézerteljesítménnyel hegesztett egyéb próbatetek húzószilárdsága (a PMMA próbatetek görbéi azonos lefutásúak a PC+ABS próbatetek görbéivel)



4. ábra A lézeres letapogatóra ráhegesztendő fedőlapok

Egy alkalmazási példa a lézeres kváziszimultán hegesztésre

A nagyon különböző változatokban gyártott lézeres letapogatók mindegyikére négy műanyag fedőlapot kell ráhegesztetni (4. ábra). A hegesztéseknél semmiféle deformáció nem engedhető meg, és a hegesztések nem engedhetik át a nedvességet. Emellett a megengedhető taktusidő <math><20\text{ s}</math>. A darab tartószerkezetét úgy alakították ki, hogy a négy hegesztéshez a darabot ebből ki kell emelni és még háromszor el kell forgatni. Ezt kézzel végzik, mert a kis darabszám miatt az automatizálás nem gazdaságos. Minden egyes kivételkor le kell győzni a leszorító erejét; és elvileg háromféle leszorítótípus alkalmazása lehetséges (5. ábra).



5. ábra Műanyagok lézeres hegesztéséhez alkalmazható rögzítési megoldások

További kihívást jelentett csatlakozókábel, amely a kontúrhegesztést zavarja. Ez többféle módon küszöbölhető ki. A legegyszerűbbet – lézersugár megvezetését a tartószerkezetre szerelt tükörrel – elvetették a kedvezőtlen tükrözési szög és a tükör elszennyeződésének veszélye miatt. Két lézerskenner alkalmazása túl nagy beruházással járt volna, ezért egy elfordítható és mozgatható lézerskenner beszerzése mellett döntöttek. Ezzel a későbbi variációkhoz rugalmasan alkalmazható megoldást kaptak. A lézerskenner rendkívüli sebessége lehetővé teszi a kváziszimultán hegesztést, amely különösen alkalmas kisméretű darabok, elektronikus elemek házának hegesztésére.

A lézerskenner nagy teljesítményű vezérléstechnikája kényelmes és könnyen kezelhető szoftvereket kínál, amelyekkel a legkülönbözőbb hegesztési folyamatokat lehet beállítani. Ilyen pl. az **LPKF Laser & Electronics** cég szabadalommal védett „támolygó hegesztése” (Taumelschweißen), amelynek révén a lézerskenner előtolási sebessége lényegesen 1000 mm/s alá vihető. Emiatt a darab hegesztési kontúrja ismét lehül. Ez tudatosan alkalmazott eljárás, amikor a kisebb sebesség miatt a kontúrra

hosszabb ideig hat a lézerteljesítmény. A felület elszennyeződéskor azonban könnyen megég.

Kváziszimultán hegesztéskor ettől eltérően egyszerű felmelegítés és hegesztési folyamat megy végbe. Hogy a kontúr egyenletesen felmelegedjék és a lézersugár áthaladása után ne hűljön le, a lézersugár sebessége meghaladja az 1000 mm/s-ot. A folyamatot addig tartják fenn köztes hőmérséklet kialakulása nélkül, amíg el nem érték az előre meghatározott hegesztési mélységet.

Összeállította: Pál Károlyné

Bonefeld, D.; Wike, L. stb.: Das Spiel mit dem Druck = Kunststoffe, 101. k. 3. sz. 2011. p. 58–63.

Wolf, E.: Flexibel für Variantenreichtum = Plastverarbeiter, 61. k. 10. sz. 2010. p. 124–125.