

## Újdonságok a műanyagok ultrahangos és dörzshegesztésében

A műanyag alkatrészek összeillesztésében a hegesztés fontos szerepet játszik. A dörzshegesztésben még vannak tartalékok, hiszen egy új módszerrel például az ablakkeretek hegesztési idejét sikerült a tizedére csökkenteni. Az ultrahangos hegesztés újdonsága a digitális ultrahang-generátor, és a folyamatszabályozást is fejlesztik.

*Tárgyszavak: dörzshegesztés; vibrációs hegesztés; infravörös sugárzás; poliamid; ultrahangos hegesztés; digitális ultrahang-generátor.*

### Dörzshegesztés gyorsítása az ablakgyártás során

Közismert, hogy a dörzsölés hőt gerjeszt, ezt már őseink is kihasználták a tűzgyújtásra. Manapság ezt az effektust alkalmazzák a hegesztés egyik fajtájánál. A hegesztendő részeket addig dörzsölik egymáshoz, amíg a felületük meg nem lágyul. Ekkor a dörzsölést abbahagyják, a felület megszilárdul, és tartós kötés alakul ki az alkatrészek között. A dörzshegesztés módszere már régen ismert, például *egy autóban átlagosan 100 dörzshegesztett alkatrész található*. Profilok hegesztésére olyan módszert fejlesztettek ki, amellyel egyszerre négy helyen végezhető a hegesztés. A „multi-orbitál” módszer különösen alkalmas ablakkeretek hegesztésére, hiszen így az ablak mind a négy sarkán egyszerre elvégezhető a művelet. A módszer elvben bármilyen hőre lágyuló műanyagra alkalmazható, még olyanokra is, amelyek nagy mennyiségű töltőanyagot (farost, papír) vagy fémbetétet (alumínium) tartalmaznak.

A teljes hegesztett felület egyidejű, síkban történő mozgatásával mindössze 3–8 ms alatt elérhető a kívánt hőmérséklet, és a mozgás leállítható, a hegesztendő felületet nagyon pontosan lehet illeszteni. Másik előny, hogy a dörzshegesztés során az elmozdulás mindössze 0,8 mm, ezért egész vékony elemek is hegeszthetők. A hegesztési varrat olyan kicsi, hogy alig van szükség utómegmunkálásra. A kifejlesztett módszer visszahat a tervezők munkájára is, akik a szilárdság vagy a hőszigetelés tervezésekor új formájú profilokban gondolkodhatnak. *Az ablakkeretgyártást sokkal gazdaságosabbá teszi, hiszen ezzel a módszerrel egy ablakkeret hegesztése 8–12 s alatt elvégezhető, ami kb. tizede annak az időnek, amire eddig szükség volt.* Mivel az energiabevitel nagyon célzottan történik, a hegesztett darabot szinte a hegesztés befejezése után azonnal meg lehet fogni. A gépkezelő néhány másodpercen belül kiveheti a kész darabot a rögzítő keretből.

*A berendezés lelke a mechanika és az elektronika.* Alapbeállításban a berendezés vízszintes elrendezésű, de ettől 75°-kal el lehet térni, ha a gyártósorba való integráció ezt megkívánja. Két szán végzi a fő mozgást X és Y irányban, nagy pontossággal és

sebességgel. A mozgó alkatrészek precíz pozicionálását szervomeghajtások és fogaszíjak biztosítják. Előzetes pozicionálás után a darabokat behelyezik, rögzítik és megfelelő pozícióba hozzák. A rögzítő elemek szinte bármilyen profilhoz alkalmazhatók. A négy hegesztőfejet kettős excenterrel mozgatják, 180°-os fáziseltéréssel. Már 4500–6000 fordulatszám mellett nagy hegesztési sebességet lehet elérni. A dörzsfej gyors beállíthatósága is hozzájárul a rövid hegesztési ciklushoz. A berendezés automatizálását a **Siemens** oldotta meg. Az ún. *Simotion rendszert* már eddig is sikerrel alkalmazták a műanyag-feldolgozásban, a textiliparban, a nyomdaiparban és a csomagolásban. Ugyanez a rendszer gondoskodik a hőmérséklet és a fordulatszám szabályozásáról is. A *Simotion* rendszer háromféle hardver platformon futtatható: kontrolleren, PC-n és integrált számítástechnikai rendszereken. A mai PC-k alkalmasak arra, hogy Windows alapú szoftverek segítségével közvetlenül gépeket vezéreljenek. A **Siemens** a **Microsoft** céggel együttműködve kialakított egy saját „shell” formátumot, amely a jeleket feldolgozza és a gépet akkor is biztonságosan vezérli, ha közben a Windows program leáll vagy újra kell indítani. Nagyon fontos gondoskodni arról, hogy a meghajtások a vezérlőjeleket szinkronban kapják meg. A komoly és sokirányú fejlesztéssel megvalósított egyetlen „multiorbitális” hegesztőgép teljesítménye öt korábbi hegesztőgép teljesítményét éri el.

## **A kopás és a szálkásodás csökkentése a dörzshegesztésnél**

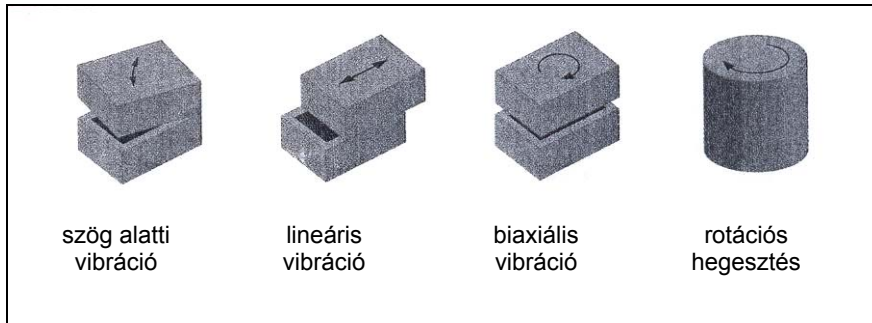
A sokféle lehetséges hegesztési eljárás közül a dörzshegesztést akkor szokták alkalmazni, ha sorozatgyártásban nagy darabokat kell gyorsan, szilárdan és megbízhatóan összekötni egymással. A módszernek sok előnye van ugyan, de hátrányai között említendő a kopásból származó törmelék képződése és a hegesztett darabok „kiszájkásodása” a művelet során. Az ilyen feldolgozási „melléktermékeket” különösen kerülni kell olyan környezetben, ahol finom mechanikai alkatrészek működnek. Ilyen alkalmazásokra példa a turbókompresszor vagy a dörzshegesztéssel rögzített tartályok és továbbító elemek a gépkocsi fékfolyadékrendszerében. A kopásból származó törmelék eltömhet vezetékeket, szelepeket, megrongálhat meghajtásokat stb. Kritikus alkalmazásokban (pl. orvosi eszközökben) külön gondoskodni kell az ilyen szennyeződések eltávolításáról. Ez növeli az utólagos megmunkálás és a minőségbiztosítás költségeit, valamint a selejt kialakulásának valószínűségét. Külön problémát jelent, hogy üvegszállal erősített műanyagok hegesztésekor egészségre ártalmas szállhulladék kerülhet a levegőbe, amelynek mennyiségét a munkaegészségügyi előírások szigorúan korlátozzák.

*A dörzshegesztésnek alapvetően két változata van, az egyik a vibrációs hegesztés, a másik a rotációs hegesztés. A különböző elrendezéseket az 1. ábra szemlélteti.*

*Az iparban régóta sikerrel alkalmazott dörzshegesztés folyamata négy fázisra osztható:*

- 1. fázis:* a szilárd fázisban a hegesztendő darabok a súrlódás miatt az olvadáspontig (vagy az üvegesedési hőmérsékletig) felmelegednek,
- 2. fázis:* nem stacionárius olvadékfilm képződik, aminek során időben vastagodó filmréteg alakul ki,

3. *fázis*: a stacionárius fázisban az olvadási sebesség állandósul,  
 4. *fázis*: az utónyomási vagy hűtési fázisban a hegesztett darabok még összeszorítva maradnak, de a vibráció megszűnik, ezért a megolvadt műanyag megszilárdul, a darabok elnyerik végleges helyzetüket.

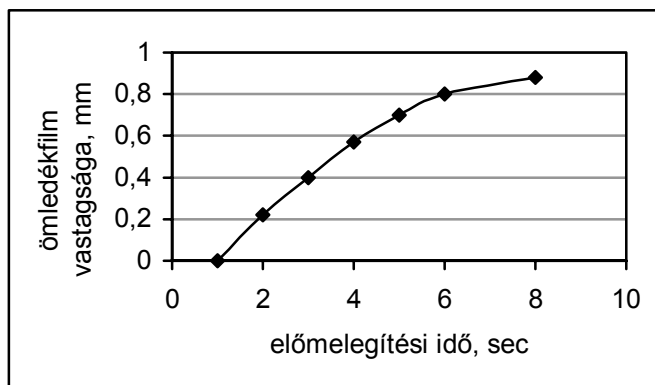


1. ábra. A dörzshegesztés fajtái

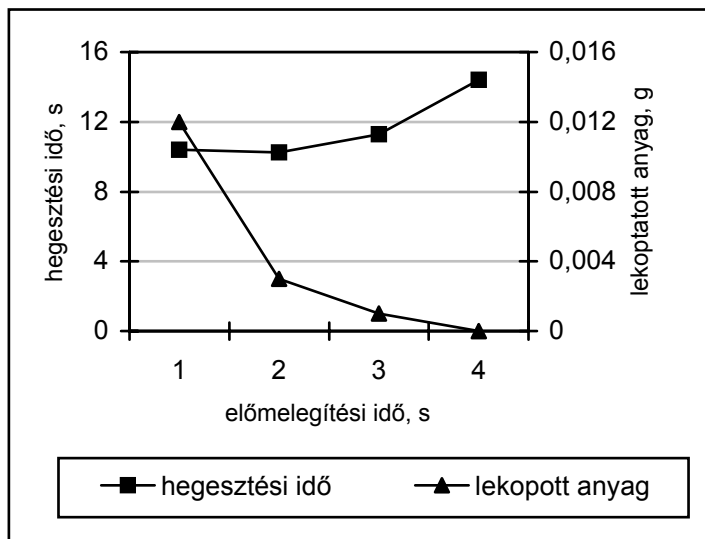
*A kopásból származó törmelék és szálkásodás mennyiségét és milyenségét az első fázis paraméterei határozzák meg. A paderborni Műanyagkutató Intézet (Institut für Kunststofftechnik) munkatársai a kedvezőtlen folyamatok megelőzése céljából a hegesztendő felületeket infravörös sugárzással előmelegítették. A kísérletekhez egy berendezést építettek: egy kereskedelmi dörzshegesztő berendezésre rászereltek két infrasugárzót, amelyekben egyenként 2–2 fűtőelem volt, 1800-2200 °C-os felületi hőmérséklettel (ez 1,2 és 1,4  $\mu\text{m}$  közötti hullámhossznak felel meg). Ezeket lengőkarokra szerelték, hogy a sugárzókat gyorsan az előmelegítendő alkatrészek fölé juttathassák, és onnan idejében el is távolíthassák. A pneumatika szabályozását beépítették a készülékbe, egyedül a sugárzók be és kikapcsolása történt automatikusan. Tekintettel a megoldás újdonságára, ebben a kísérletsorozatban a gazdaságossági optimalizálást (különös tekintettel a ciklusidő megrövidítésére) még nem végezték el. A hőszugárzó gyors eltávolítása ebben különösen fontos szerepet játszik, mert ez fontos a gyors hűléshez is. Annyi mindenesetre kiderült, hogy a ciklusidő az előzetes besugárzással jelentősen rövidíthető, és a kopásból eredő kedvezőtlen mellékhatások nagymértékben csökkenthetők vagy akár teljesen meg is szüntethetők. Mivel a hegesztés szempontjából az ömledékfilm vastagsága központi jelentőségű, ezt egy külön vizsgálatban határozták meg. A besugárzási időt 1 és 8 másodperc között változtatva az ömledékfilm vastagsága (amelyet mikroszóppal mértek) 0 és 1 mm között változott (ld. a 2. ábrát).*

A folyamat részleteinek jobb megismerése érdekében kiválasztottak egy nem erősített polipropiléntípust és megvizsgálták a különböző folyamatparaméterek hatását az eredményre. A 3. ábrán látható az előmelegítési idő hatása a lekoptatott anyag tömegére és a hegesztési ciklus idejére. Az eredményekből kitűnik, hogy az előmelegítési időt 1 másodpercről 4 másodpercre növelve (a hegesztés ciklusidejének jelentéktelen mértékű növekedése mellett), a koptatás gyakorlatilag teljesen megszüntethető. A teljes ciklusidő ugyan nő az előmelegítéssel, de a vibrációs idő csökken. Ez érthető, mert nő az ömledékfilm vastagsága, csökken a viszkozitás és a hegedési varrat megtöl-

téséhez szükséges idő. A szakítási próbákból az is kiderült, hogy az előmelegítés hatására valamelyest nőtt a hegedési varrat szilárdsága is, pedig az optimalizálás célja nem ez volt, hanem a kopás csökkentése.



2. ábra. Az ömledékfilm vastagsága a melegítési idő függvényében  
(Anyag: PP  
Hősugárzó: duplacsöves fűtőegység  
Teljesítmény: 60 W/cm<sup>2</sup>  
Hőmérséklet: 1800–2000 °C  
Hullámhossz: 1,2–1,4 μm)



3. ábra  
A lekoptatott anyag tömege és a hegesztés ciklusideje az előmelegítési idő függvényében.  
(Paraméterek: anyag erősítetlen PP, hősugárzó duplacsöves fűtőegység, amplitúdó: 0,6 mm, dörzsnyomás: 2,3 bar, befogási nyomás: 3,4 bar, tartónyomás: 2,5 bar.)

Már az előkísérletekből is egyértelműen kiderült az ötlet hasznossága és valószínűsíthető, hogy *egy részletes optimalizálás után a dörzshegesztés és az infravörös előmelegítés kombinációja életképes alternatívának bizonyul majd olyan esetekben, ahol fontos a dörzshegesztés során fellépő kopás és szálkásodás elkerülése.*

## Benzintank előállítása fröccsöntéssel és dörzshegesztéssel

Érdekes példát jelent a dörzshegesztés alkalmazására egy láncfűrészhez kifejlesztett benzintank, amelyet két darabban fröccsöntenek *üvegszállal erősített poliamidból*. A két féldarabot dörzshegesztéssel illesztik össze. Az így kialakított hegesztési varrat nagy szilárdságú, és a varrat mérete a hegesztendő darabok geometriájának megfelelő tervezésével nagy pontossággal kialakítható. A dörzshegesztés paramétereinek pontos beállíthatósága és naplózása elősegíti a minőségbiztosítást. Ennél az üzemanyagtank-

nál pl. fedett hegesztési varratra volt szükség. A műszaki követelmények az alábbiak voltak:

- a tartály belsejébe nem kerülhet kopásból származó törmelék, amely zavart okozhatna a motor üzemanyag-ellátásában,
- a hegesztés után mindkét résznek sima felületet kell mutatnia minden kiálló rész nélkül, ami nagy illesztési pontosságot feltételez. Erre azért van szükség, hogy a fűrészelés során csökkenjen a sebesülés veszélye.

A két féldarabot úgy kellett kialakítani, hogy egyrészt megfeleljenek a szilárdsági követelményeknek, másrészt lehetővé tegyék a dörzshegesztéshez szükséges elmozdulást. A hegesztőgépgyártóval együtt optimalizálták a rögzítési ciklust úgy, hogy a hegesztési varrat minél szilárdabb és teljesen sima felületű legyen. A hegesztés során az alsó darabot az álló részhez, a felső darabot pedig a mozgó részhez rögzítették. A hegesztéshez lineáris rezgést alkalmaztak, amelynek frekvenciája 208 Hz, amplitúdója 0,9 mm volt. A hegesztendő alkatrészeket 5 bar nyomással préselték össze. Az ömledékfilm kialakulása után a felső rész 1 mm úthossz mentén elmozdul, majd következik egy rövid lehülési szakasz és a hegesztési folyamat egyedi paramétereinek rögzítése. A kész tartályon szivárgási vizsgálattal ellenőrizték a 100%-os tömítettséget.

## **Folyamatszabályozás ultrahangos hegesztésnél**

Végső soron *az ultrahangos hegesztés is a vibrációs hegesztés egy válfajának tekinthető, csak itt a frekvencia jóval nagyobb, az amplitúdó pedig jóval kisebb, mint a dörzshegesztésnél, és a mechanikus energia hővé alakításában nem a súrlódás, hanem a belső súrlódás (a mechanikai relaxációs veszteség) játszik szerepet.* Ma már az ultrahangos hegesztés az ipari sorozatgyártás egyik fontos lépésévé vált. Előnyei között említhető a rövid ciklusidő, a jó reprodukálhatóság és az, hogy kitűnően integrálni lehet a gyártósorokba. A geometriai feltételek mellett a varratszilárdságot alapvetően befolyásolja a hegesztési paraméterek megfelelő beállítása.

Pneumatikusan működő hegesztőpréseknél a legfontosabb folyamatparaméterek az erő és az elmozdulás. (Az amplitúdót az ultrahangos hegesztés esetében az ultrahang-generátor szabja meg). Pneumatikus préseknél az erőt a szelepen beállított nyomás határozza meg, szervo-elektromos berendezéseknél pedig a motorra adott áram nagysága.

A hegesztőgépeket általában az alábbi üzemmódokban lehet vezérelni:

- relatív elmozdulás,
- abszolút elmozdulás,
- idő,
- energia.

Az „idő” és az „energia” üzemmódot manapság a viszonylag nagyobb ingadozások miatt csak egyszerűbb esetekben vagy akkor alkalmazzák, ha nincsenek nagy követelmények a munkadarabban szemben. Korábban leggyakrabban az időt és az energiát állították be, mivel ezek könnyen vezérelhető mennyiségek. Ahogy azonban nőtt az elmozdulásmérés pontossága, egyre inkább az abszolút és a relatív elmozdulás vált

a hegesztés vezérlésének legfontosabb paraméterévé. Relatív elmozduláson azt az utat értik, amelyet a hegesztőprés az ultrahang bekapcsolása és kikapcsolása között megtesz. A relatív elmozdulásra építő vezérlés előnye, hogy a hegesztendő darabok méret-toleranciája kiegyenlíthető, ami nagyjából állandó hegesztési varratszilárdságot eredményez. Abszolút elmozdulás az, amelyet a prés a kiindulási nullhelyzettől az ultrahang-energia bekapcsolásáig megtesz. Az abszolút elmozdulás nem annyira magával a hegesztési folyamattal van kapcsolatban, inkább a hegesztés után elérendő végső mérettel. Erre a módra akkor van szükség, ha a hegesztett darab végső méretpontossága fontosabb, mint a hegesztési varrat szilárdságának állandósága.

A szervo-elektromos berendezések esetében arra is lehetőség van, hogy az erő helyett az elmozdulás sebességét vezéreljék a motor fordulatszámával. Laboratóriumi vizsgálatok kimutatták, hogy a sebesség kontrolljával „jó” vagy „kitűnő” minőségű varratokat lehet előállítani.

## Digitális generátortechnika

Az ultrahangos hegesztéstechnika másik újdonsága a *digitális ultrahang-generátor*, amelyre a gyártók fokozatosan lecserélik a régi, analóg berendezéseket. Az aacheni **Műanyag-feldolgozó Intézet** (IKV) vizsgálataiból kiderült, hogy a digitális és az analóg generátorral azonos hegesztési varratszilárdság érhető el, amennyiben a beállított paraméterek azonosak. A digitális berendezések előnyét a pontos és könnyű szoftveres vezérelhetőség jelenti, amellyel bonyolultabb folyamatok is megvalósíthatók, mint az analóg berendezéssel. A digitális berendezéseken beállítható paraméterek az alábbiak:

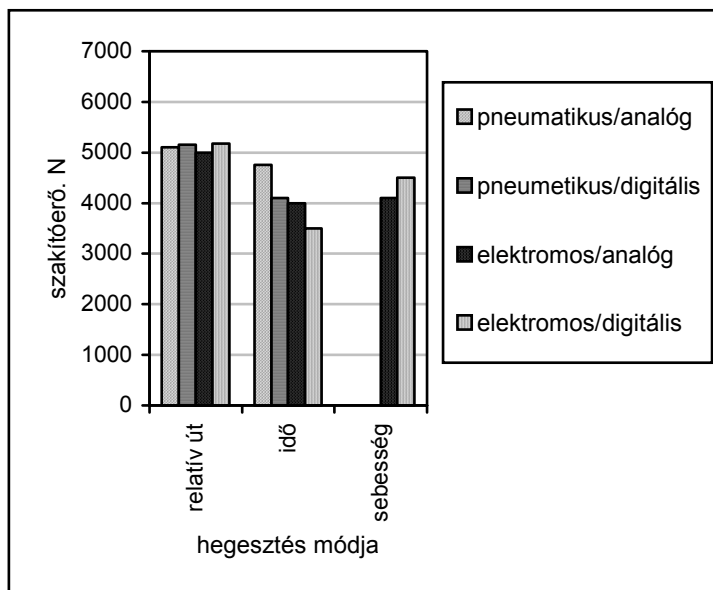
- frekvencia,
- áram,
- fázis,
- pulzusszélesség modulációja.

Ezekkel a paraméterekkel a feldolgozott anyagtól függően egyedileg szabályozható az ömledékréteg kialakulása és vastagsága.

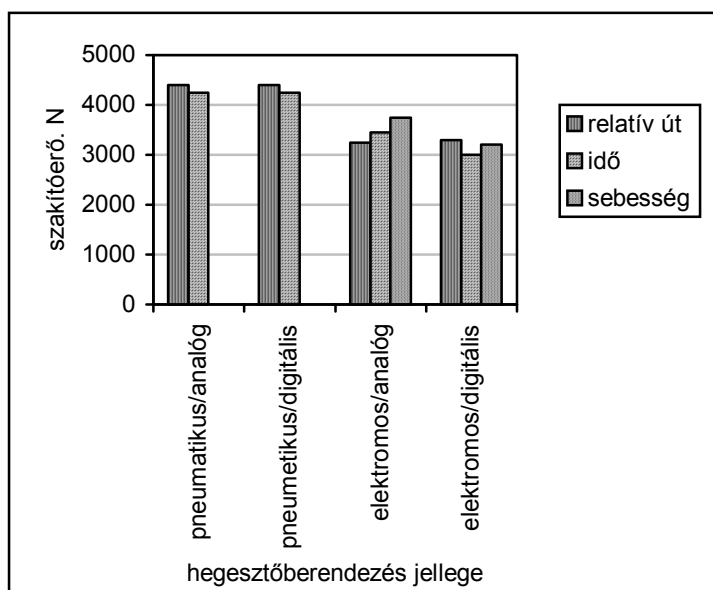
A különböző paraméterek hatásait a varratszilárdságra egy olyan próbatesten mérték, amelynél a varrat gyakorlatilag egytengelyű terhelésnek van kitéve. Ez előnyt jelent a rotációs szimmetriát mutató próbatestekkel szemben, hátránya viszont, hogy a próbatest mentén a fröccsöntés után bekövetkező zsugorodás és vetemedés miatt inhomogén az érintkezés a szonotróda (ultrahangos elektróda) és a próbatest között. Ha pedig nem egyenletes az érintkezés, akkor az ultrahang eltérő minőségű átadása miatt az olvadás sem lesz egyenletes. A kísérleteket a kísérlettervezés szabályai szerint állították össze (részleges  $2^3$  kísérletterv egy központi értékkel). A beállításokat úgy tervezték meg, hogy minden esetben homogén hegesztés és láthatóan jó minőségű varrat jöjjön létre a varrat teljes hosszán. A hegesztéshez normál, 20 kHz-es hegesztő berendezést használtak, amelyet azonban különböző érzékelőkkel egészítettek ki a folyamatot jellemző paraméterek (elmozdulás, befogó erő, teljesítmény) jó mérhetősége érdekében. A választott hegesztési geometria miatt a hegesztés minőségét nem lehetett pl. repesztési nyomással meghatározni, ezért a kiértékelések során egytengelyű húzást

alkalmaztak mikroszkópos vizsgálatokkal kiegészítve. Az értékeléskor a szakítóerő átlaga mellett tekintetbe vették a szórás is, hiszen minél kisebb a szórás, annál homogénebb a varrat. A szakítóerőt szobahőmérsékleten, rövid idejű szakítóvizsgálatokban határozták meg.

Egy amorf polimernél (polikarbonát) a szakítóerő alapján nem lehet szignifikáns különbséget tenni a különféle elven működő hegesztőgépek között, ha az ún. relatív elmozdulás vezérlési módot használják (4. ábra). Minden esetben 5000 N körüli szakítóerőt mértek, függetlenül attól, hogy pneumatikus vagy villamos mozgatót és analóg vagy digitális generátort használtak-e. ABS esetében már érzékelhető különbség van a pneumatikus és a szervo-elektromos előtoló egységek között (5. ábra) az előbbi javára, de a különböző vezérlési elvek között itt sem tudtak különbséget kimutatni.



4. ábra. Különböző elven működő hegesztőgépek hatása ultrahangos hegesztéssel előállított körszimmetrikus PC próbatetek szakítószilárdságára



5. ábra. A gépkonfigurációk hatása ABS hegesztett próbatetek szakítóerejére

## A szakítóerő megjósolhatósága

A minőségellenőrzés szempontjából nagyon fontos, hogy mennyire lehet egy-egy, a folyamat minőségét jellemző skalár mennyiséget megjósolni a folyamat paramétereinek felhasználásával. Annak érdekében, hogy kiderítsék: mennyire használható ki a digitális generátorok által szolgáltatott adatok erre a célra, szisztematikus mérésorozatot végeztek egy digitális generátor és egy szervo-elektromos prés felhasználásával. Az adatokból kiszámították a korrelációs együtthatót ( $R^2$ ) és az ún. F-értéket is. Ugyanilyen vizsgálatokat végeztek analóg berendezésekkel is, hogy közvetlenül összehasonlíthatók legyenek egymással. A kétféle módszerrel kapott mért és megjósolt adatok közti korreláció alig tér el a két esetben (78,0% és 79,0%). Fóliák esetében valamivel jobb, mintegy 90%-os korrelációt kaptak, de ott nem hasonlították össze a digitális és az analóg generátort.

Összességében tehát megállapítható, hogy bár a digitális ultrahang-generátorok nem növelik meg lényegesen a hegesztési varrat szilárdságát, az általuk szolgáltatott adatok segítik a minőségbiztosítási szakemberek munkáját.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György

Eberlein, W.; M. Deuerlein, M.: Schweißzeit um Faktor zehn verkürzt. = Kunststoffe, 94. k. 1. sz. 2004. p. 68–70.

Heim, H.-P.; Becker, F.; Schnieders, J. stb.: Abrieb und Fusselminimierung beim Vibrationsschweißen. = Kunststoffe, 96. k. 3. sz. 2006. p. 45–48.

Vibrationsschweißen eines Benzintanks. = Kunststoffe, 95. k. 9. sz. 2005.

Haberstroh, E.; Kuhlmann, K.: Prozessführung beim Ultraschallschweißen. = Kunststoffe, 94. k. 7. sz. 2004. p. 35–38.

---

---

## Röviden...

### Hőtárolás a pórusos betonban

A **H+H Celcon** cég a porusos beton építőelemekbe egy olyan anyagot dolgozott be, amely a látens hő tárolására alkalmas. A *Micronal PCM* a **BASF** terméke, hermetikusan zárt, viaszmagot tartalmazó mikroszkópikus méretű műanyag kapszulákból áll. Bekeverése a beton hőtároló kapacitását jelentősen megnöveli, azaz a nyári meleg okozta hő egy része a falban marad és nem jut be az épület belsejébe. Az új építőanyag ezáltal csökkenti a klimatizálás költségeit. A *Micronal PCM* más anyagokba is bekeverhető, pl. gipszbe, vakolatokba.