

Kavaró dörzshegesztéssel készült polimer varratok szilárdsági elemzése

Kiss Zoltán

PhD hallgató, BME Polimertechnika Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.
kiss@pt.bme.hu

Absztrakt: Alumínium és egyéb könnyűfémek hegesztése esetén az elmúlt 20 évben a kavaró dörzshegesztés jelent meg új technológiaként, amely eljárás jól alkalmazhatónak bizonyult polimerek esetében is. Az eljárás használhatóságát és a létrejött kötések szilárdságát polipropilén lemezekon tanulmányoztam, különböző hegesztési előtolásokat és fordulatszámokat vizsgálva, különböző hegesztési szerzőkkel. Az eredeti eljáráshoz képest polimerek esetében kisebb technológiai változtatásokra is szükség volt. A hegesztési varratokat szakító, hajlító és feszültségoptikai módszerekkel egyaránt vizsgáltam.

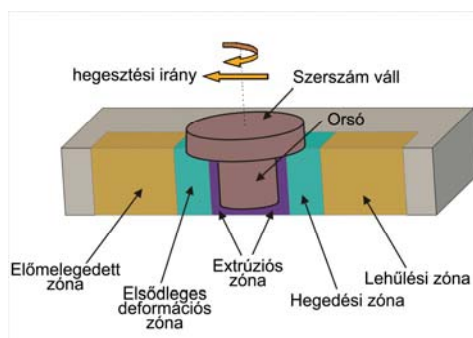
Kulcsszavak: kavaró dörzshegesztés, polipropilén

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a műszaki anyagok dinamikusan fejlődnek, ezekkel egy időben feldolgozásukra és felhasználásukra alkalmas korszerű technológiák jelentek meg. Az új technológiák hajtóereje leginkább a termelékenység növelése, de a gazdaságosság és környezetvédelem is. A különböző hegesztési technológiák szinte minden esetben termelékenyebbek és olcsóbbak az egyéb kötési módszerekhez képest. A '90-es évek elején Thomas és munkatársai fejlesztették ki a kavaró dörzshegesztési eljárást (Friction Stir Welding – FSW), amellyel egy lépésben, különösebb előkészítés nélkül tudtak akár több 10 mm vastagságú alumínium alkatrészeket összehegeszteni [1]. Az eljárás egyik nagy előnye, hogy alkalmazásához különleges eszközökre nincs szükség, akár egy egyszerű marógépben is lehetőség van hosszirányú varratok készítésére.

1.1. A kavaró dörzshegesztési eljárás bemutatása

Fémek kavaró dörzshegesztése a 1. ábrán látható elv szerint történik. Hegesztés közben először egy forgó szerszámot az összehegesztendő lemezek közé nyomnak, aminek hatására keletkező súrlódási hő megolvasztja a lemezeket, majd a szerszámot egy adott hegesztési irány mentén végigvezetve a szerszám mögött létrejön a varrat. Az eljárás elsősorban tompavarratok készítésére lett kidolgozva [2]. A hegesztőszerszám általában rendelkezik egy speciális geometriával rendelkező orsóval, illetve egy váll résszel is. Az orsó leginkább egy marószerszámhoz hasonlítható, feladata, hogy a súrlódási hő biztosítása mellett a két lemez megolvadt ömledékét összekeverje, ezáltal létrehozva a hegesztési varratot. A szerszám egy váll részt is tartalmaz, aminek feladata a keletkezett ömledék varrat-térben tartása, illetve az egyenletes, sima varrat felszín biztosítása. Ezáltal a varrat utólagos megmunkálást nem igényel.

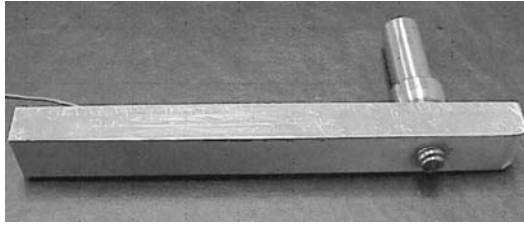


1. ábra Fémek kavaró dörzshegesztése [2]

1.2. Polimerek kavaró dörzshegesztése

Bár az FSW módszert napjainkban is széleskörűen kutatják alumínium és egyéb könnyűfémek vonatkozásában [2] (áramlási folyamatok modellezése, hegesztőszerszám geometriájának optimalizálása, varrat hőhatás-övezetének vizsgálata), polimerekre történő alkalmazásával kapcsolatban csak néhány publikáció jelent meg.

Polimerek hegesztésekor a szerszámmal együtt forgó váll helyett egy álló papucsot alkalmaztak Strand és munkatársai, amit kiegészítő fűtéssel láttak el (2. ábra) [3]. Munkájuk során különböző szerszámtér méretekkel és hegesztési beállításokkal hegesztettek össze polipropilén lemezeket és vizsgálták a hegesztő szerszám előrehaladásának (előtolás) és simítópapucs hőmérsékletének hatását. Az általuk alkalmazott szerszám geometriáját nem közölték. A hegesztéseket egységesen 1080 1/perces szerszám-fordulatszámra végezték.



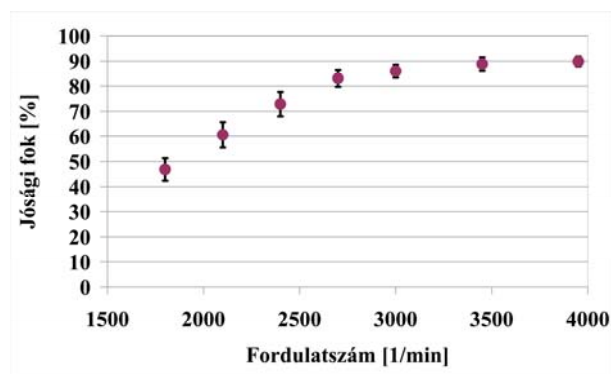
2. ábra Polimerek kavaró dörzshegesztésénél alkalmazott simító papucs kiegészítő fűtéssel [3]

Megállapították, hogy a növekvő előtolással csökkent a varratok hárompontos hajlításakor mérhető maximális feszültség, illetve a varrat által elviselt maximális lehajlás is csökkent. Hárompontos hajlításnál megkülönböztették, amikor a varrat gyöke a hajlító tűskéhez képest alul helyezkedett el, és amikor a varrat gyöke felül volt. Kísérleteik alapján kijelentették, hogy abban az esetben, amikor a varrat gyöke hajlításakor húzásnak volt kitéve, a hajlítószilárdság csökken. A felfűtött papucs hőmérsékletére 160 °C-ot javasoltak, de fűtés szükségességét nem vizsgálták.

2. Eredmények

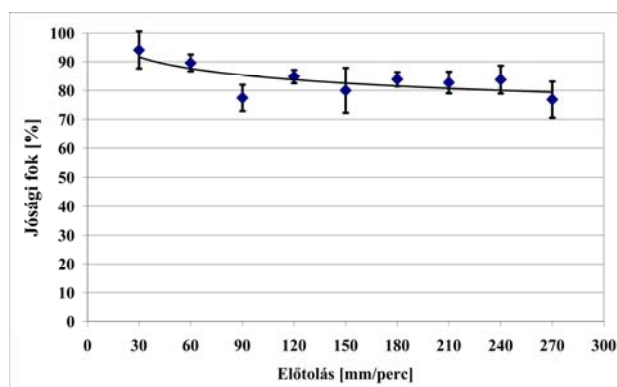
A BME Polimertechnika Tanszékén végzett kutatásaim során az FSW eljárást 10 mm vastag polipropilén lemezekre alkalmaztam, majd a létrejött varratok szilárdságát szakító és 3 pontos hajlító-vizsgálatokkal mértem. Célom, hogy a hegesztéshez szükséges szerszám geometriai kialakítása mellett részletesen vizsgáljam a hegesztési beállítások hatását a létrejött varratok minőségére (előtolás, fordulatszám, fogásvétel, simítópapucs hossza, stb.). Már az előkísérleteim során is kiderült, hogy az álló papucs használata elkerülhetetlen, mivel a szerszámmal együtt forgó váll rossz felületi minőséget eredményezett, az ömledék feltapadt a vállra, aminek hatására az elkenődött. Stranddal ellentétben fémpapucs alkalmazása helyett teflon simítópapucsot használtam, ugyanis a teflon (vagy teflon bevonat) használata más műanyaghegesztéseknél is bevált (pl. extrúziós hegesztés). Hőkamerás felvételek segítségével megállapítottam, hogy külső fűtés alkalmazása szükségtelen, kellően magas (pl.: 3000 1/perc) fordulatszámnál a varratban 200-210 °C-os hőmérséklet is keletkezik, ami polipropilén hegesztéséhez már önmagában elégséges. A hegesztési beállítások hatását a varrat húzószilárdságára már a korábbiakban is vizsgáltam [4]. A 3. ábrán látható, hogy 25,5 MPa húzószilárdságú polipropilén anyaghoz képest csak 2500 1/perc fordulatszám fölött kaptam megfelelőnek mondható kötéseket, amely fordulatszám jelentősen meghaladja Strand által közölt értéket.

Kiss Zoltán: Kavaró dörzshegesztéssel készült polimer varratok szilárdsági elemzése



3. ábra 25 mm/perc-es hegesztési előtolással változó fordulatszámon hegesztett polipropilén varratok húzószilárdságából számított jóság fokok

A 4. ábrán 3000 1/perc-es fordulatszámon különböző hegesztési előtolásokkal készített hegesztések jóság fokai láthatók. Az előtolás a fordulatszámmal ellentétben kevésbé gyakorol hatást a varrat szilárdságára, közel tízszeres előtolás növekedés csak 20% jóság fok csökkenést vont maga után. Ebből következően az FSW módszerrel igen gyorsan, nagy termelékenység mellett lehet kötéseket létrehozni. Az előtolás növelésével azonban a lemezekre ható erő rohamosan növekszik, így hegesztés közben a lemezek rögzítése problémát jelenthet.



4. ábra 3000 1/perc-es fordulatszámon különböző hegesztési előtolásokkal hegesztett polipropilén varratok húzószilárdságából számított jóság fokok

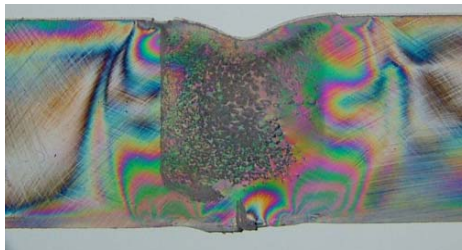
A varratok 3 pontos hajlító vizsgálatához a Németországi Hegesztési Szövetség által kidolgozott DVS 2203-5. számú szabványt alkalmaztam. A szabvány előírja különböző műanyag-hegesztési módszerrel készített varratok elvárt minimális lehajlását, ami diagramról kiolvasható extrúziós és hőlégfúvós hegesztésnél 13 mm-re, hőtükros hegesztésnél 19 mm-re adódik (10 mm vastag polipropilén lemeznél). A maximális, törés előtti lehajlás kavaró dörzshegesztett lemezek esetén átlagosan 14-15 mm-re jött ki, ami DVS által előírt követelmények tükrében jó eredmény-

nek számít. A hegesztett próbatetek eredményei azonban igazolták Strand eredményeit abban a tekintetben, hogy a terhelések során különbség mutatkozott a varrat gyökének, illetve a varrat korona oldalának terhelésénél. Ennek magyarázata a hegesztő szerszám fogásmélységében rejlik. Hegesztés során a szerszámot csak annyira lehet a lemezek közé benyomni, mint azok vastagsága, ha túlságosan nagy fogásmélységet alkalmazunk, akkor a lemezek alján a keletkezett ömledék egyszerűen kifolyhatna. Ha a fogásmélység nem elég nagy, akkor a lemezek alján (a varrat gyökében) marad egy összehegedetlen rész, ami húzás hatására könnyen szétnyílik, mint kezdő repedés utat biztosítva ezzel a varrat gyors tönkremeneteléhez. Ezért fordulhat elő, hogy 3 pontos hajlító vizsgálat során, abban az esetben, amikor a varrat gyöke alul, a húzott oldalon helyezkedik el, akkor a kapott hajlítófeszültség kisebb.

Ha a varrat irányfüggőségének különbségét tekintjük, akkor a varrat beépítésekor ezt figyelembe kell venni, hogy lehetőleg a varrat gyökoldala mindig nyomásnak legyen kitéve. Ez tartálygyártásban például azt jelenti, hogy a varrat gyökének a tartály belseje felé, míg a koronaoldalnak kifelé kell néznie.

Kutatásaim során célul tűztem ki, hogy a varrat irányfüggőségét megszüntessem, elsősorban a megfelelő fogásmélység használatával.

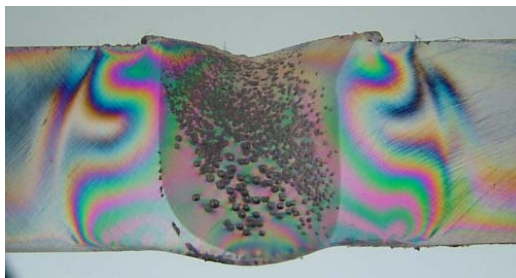
Varrat gyökénél található összehegedetlen rész feszültséggyűjtő hatásának szemléltetésére feszültségoptikai vizsgálatokat végeztem. Cirkuláris polárszűrőket tartalmazó polariszkópba helyezve a hegesztett varratokat, a színsávok jól mutatják azokat a pontokat, ahol a varratban nagy feszültségek vannak (magasabb rendszámok), amely pontokban lévő nagyobb feszültségekre a terhelés közben még nagyobb feszültség szuperponálódik. Az 5. ábrán látható felvétel készítése csak olyan polimereknél lehetséges, ami teljesen átlátszó, illetve kellően nagy kettőtörő tulajdonsággal rendelkezik, ezért a feszültségoptikai vizsgálatokhoz modellanyagként polipropilén helyett poli(etilén-tereftalát-glikol) (PETG) anyagot használtam.



5. ábra Kavaró dörzshegesztéssel 8,4 mm fogásmélységgel hegesztett PETG próbatetek gyökénél látható összehegedetlen rész és az ott kialakuló feszültséggyűjtő hely

A 6. ábrán látható, hogy abban az esetben, ha a szerszám fogásvételi mélysége kellően nagy, akkor a varrat gyök részében lévő összehegedetlen rész eltűnik. Ugyanakkor ilyen nagy mélységű hegesztés csak akkor lehetséges, ha hegesztés során a lemezek alá alátétlemezeket helyeztem, így megakadályozva az ömledék kifolyását. Amennyiben hegesztés során alátétlemezt használtam, akkor lehetsé-

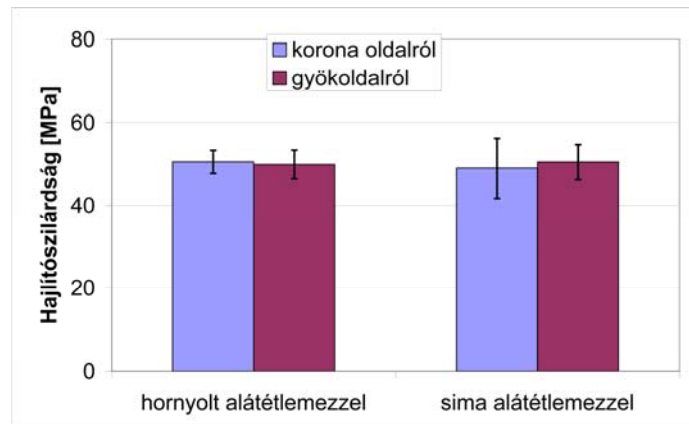
gem volt arra kisméretű, 1 mm mély hornyot elhelyezni, hogy a kifolyó ömledék szép varratgyököt eredményezzen. A horonyba sűrűszövésű teflon szövetet is fektettem, hogy a 6. ábrán látható, enyhén domború gyök jöjjön létre.



6. ábra Kavaró dörzshegesztéssel 9,6 mm fogásmélységgel hegesztett PETG próbatetek gyökénél látható feszültségmentes hely és kissé domború kialakítás

Hegesztési kísérleteim során kimutattam, hogy az alátétlemezen elhelyezett horony mélysége a hajlítóvizsgálatok során befolyásolja a varrat gyök és koronaoldali terhelése esetén mért értékeket, illetve ezek különbségét. Kimutattam, hogy túlságosan nagy (2 mm) mély horony hatására a gyökoldal jobban elviseli a húzó igénybevételt, de ilyenkor a korona túlságosan homorúvá válik és hajlítás során ez az oldal viselkedik gyengébben. A továbbiakban megvizsgáltam az 1 mm mély horonnyal ellátott és a horony nélküli alátétlemezek hatását. Az 7. ábrán látható, hogy bár „sima” alátétlemez esetén is elhanyagolható a különbség a varrat terhelésének két módja között, de itt az 1 mm mély horonnyal rendelkező változathoz képest nagyobb szórásokat tapasztaltam, ami nyilvánvalóan a kevésbé reprodukálható, bizonytalanabb kötéseket jelenti. A diagramon látható átlagos eredmények igen jónak tekinthetők, ugyanis a hegesztés nélküli polipropilén lemezek átlagos hajlítószilárdsága 58 MPa-ra adódott, a hegesztett próbatetekkel teljesen megegyező mérési körülmények szerint mérve (DVS 2203-5).

További megoldásra váró feladat, hogy a varrat irányfüggőségét alátétlemez alkalmazása nélkül is meg lehessen szüntetni.



7. ábra Kavará dörzshegesztéssel 9,6 mm fogásmélységgel hegesztett PP próbatetek hajlítószilárdsága 1 mm mély horonnyal ellátott és horony nélküli „sima” alátétlemez esetén

Összefoglalás

A cikkben egy újfajta fémhegesztési eljárás, a kavará dörzshegesztés polimerekre alkalmazásának legfrissebb eredményei kerültek bemutatásra. A varrat szilárdságát hajlítás során alapvetően befolyásolja a hegesztő szerszám fogásmélysége, ugyanis ha a fogásmélység nem elég nagy (pl.: 10 mm vastag lemez esetén csak 8 mm körüli), akkor varrat gyökében összehegedetlen rész alakul ki, ami húzó igénybevételt nehezen viseli. Bemutattam, hogy 9,6 mm fogásmélység és 1 mm mélyen hornyolt alátétlemez alkalmazásával a varrat terhelésének két módja közötti különbség eltűnik és nagy szilárdságú, reprodukálható varratok hozhatók létre. A varratok gyökénél lévő részek állapotát feszültségoptikai felvételekkel és 3 pontos hajlító vizsgálatok segítségével is elemeztem.

Irodalomjegyzék

- [1] Thomas W. M.: Friction Stir Butt Welding, International Patent Application No PCT/GB92 Patent Application No. 9125978.8 (1991)
- [2] Mishra R. S., Ma Z. Y.: Friction Stir Welding and Processing, Materials Science and Engineering, 50, 1-78 (2005)
- [3] Strand S. R.: Effects of Friction Stir Welding on Polymer Microstructure, MSc Thesis, Department of Mechanical Engineering, Brigham Young University (2004)
- [4] Kiss Z., Czígány T.: Applicability of Friction Stir Welding in Polymeric Materials, Periodica Polytechnica. 51, 15-18 (2007)