

Polimerek hegesztése és hegeszthetősége*

Kiss Zoltán** – Czigány Tibor***

Kulcsszavak: polimer, hegeszthetőség, kavarási dörzshegesztés

Keywords: polymer, weldability, friction stir welding

Summary

Welding and weldability of polymers. This paper gives an overview on the weldability of polymers and their different welding techniques, and analyses the applicability of a new welding technique, *friction stir welding (FSW)* in case of polymer materials through the examination of the bonding strength of the welds. It can be stated based on the analysis of welds created in friction stir welding carried out with different tools that FSW can be applied well for polymers, but the both the technique and the tool requires further development.

Bevezetés

A műszaki műanyagok napjainkban tapasztalható egyre dinamikusabb fejlődésével párhuzamosan növekszik az igény, hogy a fémeknél igen gyakran alkalmazott hegesztési eljárásokhoz hasonlóan gyors, megbízható és termelékeny polimer hegesztési technológiák jelenjenek meg. A köztudatban a műanyagok hegesztése elsősorban a csomagolástechnikai alkalmazásoknál merül fel, pedig az egyre bonyolultabb termékek gyártásához a különböző új kötési lehetőségek kifejlesztése elkerülhetetlen és szükséges követelmény. Az alakkal, erővel és anyaggal záró kötések a műanyagok esetén (is) rohamosan fejlődnek a megnövekedett igényeknek megfelelően [1]. Az anyagzáró hegesztési technológiák alkalmazása nem csupán a gyártás, hanem a javítás és az újrafeldolgozás során is előnyös, így nem meglepő, hogy gazdaságos és környezetkímélő eljárások látnak napvilágot. A műanyag hegesztési technológiákat három fő csoportra lehet osztani, úgymint sugárzásos (pl. lézersugaras, nagyfrekvenciás), hővezetési (pl. forrógázos, tokos) és mechanikai súrlódásos (pl. ultrahangos, rotációs) [2] eljárásokra. Ez utóbbi csoport a polimereknél és fémeknél egyaránt régóta közismertek. Azonban nemrég lett szabadalmaztatva és bevezetve könnyűfémeknél az ún. kavarási dörzshegesztés (FSW - Friction Stir Welding) [3], amelyet műanyagoknál eddig még nem próbáltak ki. A cikk célja áttekintést adni a műanyagok hegeszthetőségéről, a különböző műanyag hegesztési eljárásokról, valamint elemezni a az FSW módszer alkalmazhatóságát a polimer anyagokra vizsgálva a kialakult varrat kötősszilárdságát.

Polimerek hegesztési sajátosságai

A műanyag termékek gyártási műveleteinek, eljárásainak egy részét a fémiparból adaptálták, azonban a fémek és a polimerek közötti alapvető különbségek miatt a módszerek csak alapelveikben hasonlók. Ismeretes, hogy a fémek jelentős részénél hőkezelés és/vagy egyéb hatásokra tulajdonságaik jelentősen megváltoznak anélkül, hogy kémiai összeteleikben eltérés, változás történne. Ezek a változások a fémek kristályszerkezetének változása miatt következnek be [4]. Ilyen és ehhez hasonló jelenségek a műanyagoknál is léteznek. Hegesztésnél a hegedés alapfeltétele a szabad részecskemozgás, vagyis a folyékony halmazállapot létrejötte (kivételt jelentenek a dörzshegesztések). Fémeknél ez viszonylag egyszerűen, gyorsan és tökéletesen végbemegy, mert olvadáskor kis viszkozitású, valódi folyadékok, bennük a részecskék mozgása gyors és kötetlen, tehát a hegedés gyorsan és akadálytalanul bekövetkezhet. Viszont a hőre lágyuló műanyagok molekulái igen nagyok és főleg olyan hosszú elágazásokat is tartalmazó láncokat alkotnak, amelyek egymásba „nemezelve” leginkább a vattához hasonlóak. Két műanyag-felület tökéletes összehegedésének feltételeit a fémekhez képest nagyságrendekkel nehezebb megvalósítani. Polimerek esetében öt technológiai paraméter optimumát kell biztosítani a jó hegesztett kötés létrejöttéhez, ezek: az összeférhető anyagok; a kellő viszkozitás és rugalmas fizikai állapotokat biztosító hőmérséklet; a hegesztendő felületek molekuláris közelséget és a folyamatos optimális lefutását biztosító nyomás; az optimális hegedés bekövetkeztét biztosító időtartam; a hegesztett kötés lehűtése a kezelhetőségi állapot bekövetkeztéig [5, 6].

Az összeférhetőség fogalma alatt az összehegesztendő alapanyagok hasonlóságát kell érteni, amely elsősorban azonos kémiai szerkezetet jelent. Eltérő kémiai anyagszerkezetek esetén, olyan hasonlóság is fennállhat, amely lehetővé teszi a molekuláris nemezeldést, vagyis a hegedést. Ez elsősorban azoknál a polimereknél lehetséges és nagy jelentőségű, amelyeknek ömledékei egymással korlátlanul elegyednek. Nyilvánvaló, hogy az összeférhetőség határain belül készített többféle poliolefin keverék (kompaund, illetve "ötvözet") önmagával ugyanúgy hegeszthető, mintha egyszerű anyag volna, de a különböző összetételű, illetve anyagszerkezetű termékek hegeszthetősége elsősorban a kristályok olvadáspont-

* Közlésre elfogadva: 2007. március 14-én.

** szigorító egyetemi hallgató; *** akadémiai doktor, tanszékvezető: BME Polimertechnika Tanszék

Anyagok

Materials

jától és az olvadékok viszkozitásától, rugalmasságától függ.

A hőmérséklet fontos technológiai paraméter, hogy a "nemezelődéshez" elegendő nagy legyen a molekulák szegmens mozgékonyága, ugyanakkor a felületeket összeszorító nyomás kialakulásához elegendő legyen a rugalmas ellenállás (az ömledék szilárdsága). Ez azoknál az anyagoknál (pl. kissűrűségű polietilén) valósítható meg a legjobban, amelyek olvadékának még elegendően nagy a rugalmassága. Ennek a fontosságot hangsúlyozza az a tény, hogy a felsorolt tényezők közül a felmelegítés folyamata a hegesztés legidőigényesebb, legbonyolultabb, legkényesebb része.

A megfelelő nyomás a polimereknél azért fontos alaptényező, mert a fémekéhez hasonló sima, nagy merevségű hegesztendő felületek előállítására a gyakorlatban igen nehézkes. Ennek oka a műanyag felületek egyenetlensége, a kis merevségi tényező, illetve a nagy flexibilitás és a nagy hődilatació. A nyomást a technológiai folyamatok során gyakran igen bonyolult program szerint változtatni kell, mert szorosan illeszteni szükséges a melegeedés, a hegedés és a lehülés következtében fellepő reológiai, dilatációs és deformációs változásokhoz.

A termelékenység legfontosabb technológiai paramétere az idő. A nagy sebességű eljárások megvalósításának alapfeltétele a technológiai lépések pontos időzítésének biztosítása és betartása minden tényező esetében, valamint az egymást követő folyamatok minél nagyobb mértékű átfedése, azaz olyan szoros illesztése, amelyben az egyes gépi műveletek megkezdése és befejezése az időben késleltetve bekövetkező hatást (mechanikai mozgások, felmelegedés, lehűtés) idővesztés nélkül, optimális biztonsággal érvényesíti. Ezért minden technológiai műveleti elem automatizált és folyamatosan ellenőrzött kell legyen.

Hegedés a műanyagban csak olyan reológiai állapotban következhet be, amelyben a hegesztett kötésnek gyakorlatilag nincs szilárdsága. Gerjesztett hőközléssel igen gyorsan, akár néhány század másodperc alatt elérhető a hegedési hőmérséklet, de a hő elvezetését az adott hegesztési konstrukció szerkezeti feltételei határozzák meg, függetlenül a hőközlés módjától és időtartamától. A kezelhetőségi állapot alatt a hegesztett kötésnek azt a lehülés révén bekövetkező megszilárdulási fokát értjük, amely már károsodás nélkül kibírja a hegesztést követő műveletek igénybevételeit, amelyek során a teljes lehülés végbe mehet.

Különösen a nagyobb hegedési zóna esetén a hegesztést és a lehűtést műveletileg szétválasztják és a lehűtést külön műveleti helyen és módon végzik el.

A lehülési szakaszban a programozott nyomásnak igen nagy szerepe van a hegesztett kötésben végbemenő zsugorodási, utódeformációs (retardációs) és feszültség-csökkenési (relaxációs) folyamatok kézben tarthatóságára. Ha bármilyen kis molekulájú anyagok – fémek, ásványok, szerves vegyületek – durva, vagy finom őrleményeit edényben megolvasztjuk, az ömledék rövid idő alatt egyneművé elegyedek, amelyben az eredeti szilárd részek – a szabad és gyors részecskemozgás miatt – már nem mutathatók ki. Ha azonban bármelyik hőre lágyuló műanyag őrleményt, illetve granulátumot edényben megolvasztunk, és azonos hőmérsékleten tartunk, még órák múlva is megkülönböztethetők az eredetileg szilárd részek, legfeljebb a térkitöltés folyamatai és/vagy a konvekciós áramlás hoz bennük létre alaktorzulást. Az eredeti szemcsék – leggyakrabban granulátumok – összeolvadva határfelületeiken összehegednek, de csak akkor adnak tökéletesen homogén terméket, ha mindegyik granulátum szemcse külön-külön is homogén volt. Az a tény, tehát hogy a műanyag szemcsék olvadéka nem elegyedek, magyarázza meg azt, hogy miért kénytelen minden polimer-feldolgozó, illetve melegalakító eljárás mechanikai homogenizáló műveletet is alkalmazni, mégpedig robosztus, erős gépekkel, amelyekben nagy nyíróerők hatására intenzív, gyúrdagasztó folyamatban következik be a homogenizálás.

Polimerek hegesztési eljárásai

A polimerek hegesztésénél a hőközlés összes tipikus módja, így a hővezetés (kondukción), a hőszugárzás (radiáció), illetve a mechanikai súrlódás használatos [7]. A hővezetéses eljárások közül az egyik legfontosabb a *forrógázos hegesztés*, melynek során – esetenként hozaganyag hozzáadásával – a forró gázok alkalmazásával érik el a kötéshez szükséges olvadásponti hőmérsékletet [20]. Az iparban széles körben alkalmazzák a különféle *fűtőelemes tomphahegesztéseket* (tűkörhegesztések). Itt különböző geometriájú, nagy hőmérsékletű fém hegesztőtűkörhöz nyomják a darabot, majd miután az érintkező felület megolvadt, összeillesztik az alkatrészeket. Polietilén, polipropilén és PVC fóliák átlapoló kötésére a fűtőékes eljárást használják, ahol az összehegesztendő fóliákat egy fűtőéken keresztül mozgatják görgők segítségével, mely ék megolvasztja a vele érintkező felületeket, majd ezen felületek további hengerpárokhoz egymáshoz vezethetők. Az *ellenállás-huzalos* és *hőimpulzusos eljárások* egyaránt az elektromos ellenállásokon (fémzálak) fejlődő hő hasznosítják a kötés létrehozásában.

A hőszugárzás elvét hasznosító módszerek csoportjába az elektromágneses hullámokon terjedő energiát kiaknázó eljárások tartoznak. A *nagyfrekvenciás és mikrohullámú hegesztést* a nagy dielektromos veszteségi tényezővel rendelkező polimerek esetében

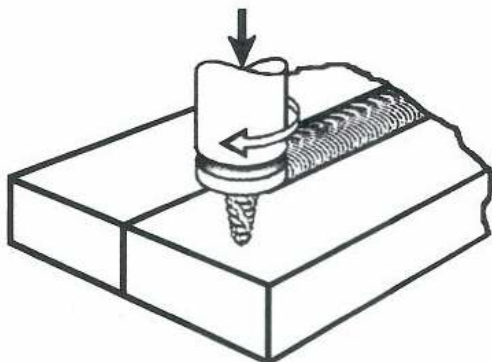
Anyagok

Materials

alkalmazzák, melyekben az érkező sugárzás elnyelődik és hővé alakul, majd megolvasztja a munkadarabok felületét. *Indukciós hegesztés* során ferromágneses port tartalmazó blendekeket használnak, amik a mágneses tér hatására felmelegednek, és létrehozzák a kapcsolatot. *Lézersugaras hegesztés* során tükrök segítségével a lézersugár abszorbeálódik a felületen, így gerjesztve a szükséges hőmennyiséget.

A mechanikai súrlódásos módszerek alkotják a hegesztés harmadik nagy csoportját. Az régóta ismert, hogy a súrlódási hő alkalmas anyagok kötésére, alakítására. Számos, súrlódási hőre épülő, ún. dörzs technológiát dolgoztak ki, amelyek lehetővé teszik a súrlódás folyamatának alkalmazását számos alkatrészalak és termék számára. Például forgás nélküli, orbitális, lineáris és szögletes, váltakozó irányú mozgások (vibrációs hegesztés) teszik lehetővé, hogy a súrlódási hő egy sor, nem körkörös alkatrész számára is használni lehessen. Körszimmetrikus darabokat rotációs hegesztéssel kapcsolnak össze. Ezek a dörzshegesztő technikák gyakorlatilag "egy lépéses" kötési eljárásnak minősülnek, miután a kötési folyamat többé-kevésbé egyidejűleg jön létre az egész kötés mentén. Ilyen módon, ahogy a kötés keresztmetszete növekszik, úgy ezzel arányosan növekszik a dörzshegesztéshez szükséges erő is, ami gyakorlatilag korlátot szab az alkalmazásnak. Az *ultrahangos hegesztés*nél a műanyag megömlésével járó helyi felmelegedést okozó vibráció frekvenciája igen nagy (20-50 kHz), amplitúdója kicsi (5-90 μm). A különböző geometriájú szonotróda összeszorítja a felületeket, ez után az ultrahang által kiváltott molekuláris súrlódás keltette hő olvasztja meg az anyagot. Az eljárás vékony fóliák hegesztésére alkalmas és jól automatizálható, legfőképpen a csomagolóipar alkalmazza.

A *kavaró dörzshegesztés (FSW)* [8, 9] új eljárásként illeszthető be a mechanikai súrlódásos hegesztési eljárások közé, és a csoport többi módszerével némi rokonság is fellelhető, amennyiben az FSW esetében is mozgó hőforrásról van szó, amelynek



1. ábra. Kavaró dörzshegesztés elvi ábrája [8]

Fig. 1: Principe of the friction stir welding (FSW) [8]

mentén alakul ki az ún. kulcslyukhatás. Ezen jelenség alatt az előrehaladó és pontszerűnek tekinthető hőforrás mögötti közvetlen térrészben kialakuló, kulcslyukformához hasonlítható „üres” részt értjük és e mögött egyesülnek a hőforrást megkerülő ömledékfrontok. A kavaró dörzshegesztés lényege, hogy miközben egy, az összehegesztendő alkatrészbe besüllyesztett, gyorsan forgó szerszám végighalad a varrat nyomvonalán a súrlódási hővel megolvadt és összekevert anyag a szerszám mögött képez varratot (1. ábra). A varrat elkészülte után egyszerűen kiemelik a szerszámot. A hegesztéshez szükséges szerszám anyaga és kialakítása kritikus a sikeres anyagáramlás, végső soron a varratszilárdság szempontjából [10].

Kísérleti eredmények és értékelésük

Kísérleteink célja a – könnyűfémeknél már sikeresen alkalmazott – kavaró dörzshegesztés alkalmazhatóságának bizonyítása volt műanyagok esetén. A kavaró dörzshegesztéseket egyetemes marógépen végeztük különböző maró és menetfúró szerszámokkal. Az összehegesztendő anyagok PP-DWU (E = 1658 MPa, MFI = 0,5795 g/10perc) típusú, SIMONA gyártmányú, extrudált, 10 és 25 mm vastag polipropilén táblák voltak.

Három, különböző geometriájú szerszámmal próbáltuk az összehegeszteni a lemezeket. Az „A” jelű szerszámmal (2. ábra) végzett próbálkozások kevés értékelhető eredménnyel szolgáltak. A különböző fordulatszámokon (500, 1400, 2000 1/min) forgatott szerszám, bár kilágyította az anyagot, ám lineáris eltolásakor nem tudta azt maga mögé kavarni, hanem az előtte feltorlódnak az anyagot a szerszám a váll alatt oldalra kinyomta.



2. ábra. Az „A” jelű szerszám

Fig. 2: The tool marked „A”

A 2. ábrán látható kúpos felületet szándékosan készítettük nagy felületi érdességűre, hogy minél nagyobb súrlódást tudjon létrehozni. A próbák után mindenesetre megállapítható volt, hogy a módszer valóban alkalmas az anyag helyi hőmérsékletének emelésére egészen az olvadási hőmérsékletig, tehát ké-

Anyagok

Materials

pesek vagyunk képlékeny állapotot létrehozni. Ezen kívül bizonyítottá vált az előzetes elgondolás, miszerint a szerszám geometriájában mindenképpen szűkség van egy vagy több horonyra, ami az előre torlaszolás helyett a szerszám mögé gyűjti az anyagot. A gondolat igazolására választottuk a „B” jelű szerszámot (3. ábra).



3. ábra. A „B” jelű, Ø8-as ujjmaró szerszám

Fig. 3: The finger-milling of Ø8 marked „B”

A „B” jelű szerszám egy Ø8-as ujjmaró, melyet a maráshoz képest ellentétes irányba forgattunk $n = 500$ 1/min fordulatszámon és $v = 56$ mm/min előtoláson. Mivel a szakirodalom tanulmányozása után úgy véltük, hogy az „A” jelű szerszámnál kialakított vállra itt is szükség van, ezért az ujjmarót a marógéphez alkalmazott patronba úgy fogtuk be, hogy az csak 23 mm-re állt ki (ekkor 25 mm-es anyagot hegesztettük, tehát ha a patron homlokfelülete felfeküdt az anyagra, de az ujjmaró nem érte át teljesen a PP lemezeket). Az elvégzett hegesztések alapján határozott javulás volt tapasztalható az első szerszámhoz képest, hiszen egy arányaiban keskeny, ugyanakkor mély varratot tudtunk létrehozni.

A 4. ábrán látható „C” jelű szerszámot abból a megfontolásból kiindulva készítettük el, hogy a „B”



4. ábra. A „C” jelű szerszám

Fig. 4: The tool marked „C”

szerszám horonyfelületének és élszalagjának aránya túlságosan nagy, azaz az anyaggal súrlódó felületet

kell megnövelni. De a „C” jelű szerszám sem eredményezett kiugróan jobb értékeket az előbbinél, viszont alkalmazásával igen sok, a hegesztés minőségére utaló tényezőt elemezhetünk.

A hegesztési kísérletek során kiderült, hogy az előtolási sebesség és a fordulatszám helyes arányának és nagyságának megtalálása az egyik legfontosabb tényező a megfelelő kötés létrehozásában. Például az $n = 450$ 1/min és $v = 50$ mm/min paraméterekkel készült varrat kézzel könnyedén eltörhető volt, míg az $n = 630$ 1/min és $v = 50$ mm/min paraméterekkel készült varrat már megfelelő kötést mutatott. Ez utóbbiból egy jellemző varrat metszetképe látható az 5. ábrán.



5. ábra. FSW eljárással készült varrat keresztmetszeti képe

Fig. 5: The cross section of a weld made with FSW method

A képen megfigyelhető, hogy a szerszám forgó mozgása által kialakított áramlási viszonyok miatt összegyűlő, a szerszám által belekevert levegő egy belső üregét eredményezett, ami szükségessé teszi a szerszám által létrehozott áramlások alaposabb tanulmányozását, esetleg numerikus szimuláció elvégzését. Mindezek alátámasztják, hogy a helyes szerszámgeometria megtalálása és kialakítása kulcsfontosságú a megfelelő minőségű kötés létrehozásában.

Az alapanyagból és a hegesztett lemezekből az EN ISO 527 szabványnak megfelelő, piskóta alakú próbatesteket munkáltunk ki, vizsgálva a kialakult varratok jóságát. A szakítóvizsgálatokat Zwick Z020 típusú univerzális szakítógéppel, 10 mm/perc sebességgel, szobahőmérsékleten végeztük (1. táblázat).

A hegesztés nélküli próbatestekhez képest a hegesztett kötéseknek a maximális erőnél mérhető megnyúlása jóval kisebb, és a próbatestek a viszonylag kis megnyúlás után közvetlenül a varrat mellett szakadtak el. Ez jól mutatja a hőhatásövezet elridegedését, felkeményedését. Fontos megjegyezni, hogy a próbatestek csak egy oldalról lettek hegesztve, így szakítás közben óhatatlanul fellép egy feltépő jel-

Anyagok

Materials

legű erő a keletkező hajlítófeszültség miatt. Ez az utóbbi tényező jelentősen befolyásolhatta a mérést.

1. táblázat. Hegesztési paraméterek és az elkészült varratok szilárdsága

Table 1: The welding parameters and the weld strengths

Sorszám	Előtolási sebesség (mm/min)	Fordulat-szám (1/min)	A szer-szám jele	Szakító-szilárdság (MPa)	Átlagos jósági fok, %
mátrix	-	-	-	23,8±1,8	-
1	50	450	B	9,3±0,5	39
2	50	630	B	8,6±0,6	36
3	40	630	B	9,2±1,0	39
4	50	630	C	11,5±2,4	49
5	40	630	C	4,0±1,9	17

Az ujjmaró patronból kinyúló hosszának mértéke igen fontos paraméter. Mivel a hegesztés csak egy oldalról történt, így az egymásnak szorított felületek nem hegedtek össze teljesen, a gyökben hiányos a varratkitöltés. Ez a tényező – a bemetszett próbateszekhez hasonlóan – a hegesztett kötés szilárdságát.

Az eredményekből megállapítható, hogy amíg a „B” jelű szerszám nem, addig a „C” jelű szerszám igen érzékeny volt a hegesztési paraméterek változására. Az alapanyag szakítószilárdságának százalékában kifejezett jósági fok általában 40% körüli érték, egy esetben sikerült elérni a közel 50 %-ot. Látható, hogy a „C” jelű szerszámhoz tartozik a legjobb és a legrosszabb hegesztés is, ami azt bizonyítja, hogy különleges fontosságú a szerszámgeometria helyes megválasztása és az ehhez rendelhető technológiai paraméterek megtalálása.

Összefoglalás

A cikkben polipropilén lemezek összehegesztésével igazoltuk a kavaró dörzshegesztés (FSW) alkalmazhatóságát polimer anyagokra. Az irodalom alapján röviden áttekintettük a polimer szerkezeti anyagok hegesztési sajátosságait, és csoportosítva a különféle hegesztési eljárásokat. Bemutattuk a mechanikai súrlódásos hegesztés egy új válfaját, a kavaró dörzshegesztést. A cikk második felében ismertettük az általunk alkalmazott szerszámok geometriáját, az elvégzett hegesztési kísérleteket és azok eredm-

nyeit. Szakítóvizsgálatokkal elemeztük a kialakult varratok jósági fokát. Mindezek alapján bebizonyítottuk, hogy a technológia a gyakorlatban is működőképes, ám a technológiai paraméterek és szerszámkonstrukciók optimalizálása még fejlesztésre szorul. További szempontokat figyelembe vevő, megfelelően megtervezett kísérleti terv alapján végigvitt mérési sorozatra van szükség ahhoz, hogy választ kaphassunk a cikkben feltárt, valamint a jövőben jelentkező problémákra [11].

Köszönetnyilvánítás

Az eredmények megjelentetését az Országos Tudományos Kutatási Alap (NI62729), valamint az NKTH Öveges József pályázatai támogatták.

Irodalomjegyzék

- [1] Marczis B., Czigány T.: Polymer joints. Periodica Polytechnica, Ser. Mech. Eng. 46 (2002), 117-126
- [2] Kiss L., Szabó Gy.: Műanyag hegesztés. Gazdász-Elasztik Kft., Budapest, 2002
- [3] Johnson R., Threadgill P.: Friction stir welding of magnesium alloys. TMS Symposium on Magnesium Technology, San Diego, CA, USA, 2-6 March 2003
- [4] Artinger I., Kator L., Romvári P.: Fémek technológiája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975
- [5] Molnár I., Almásiné Pető E., Seder J., Csikai I.: Műanyagok hegedési folyamatai és a hegesztési eljárások problémái. Műanyag és Gumi, 33 (1996), 339-348
- [6] Gáti J.: Polimer hegesztett kötések eltérései és azok okai. Hegesztéstechnika, 15 (2004), 6-7
- [7] Marczis B.: Forrógázos hegesztési eljárás paramétereinek hatása a hegesztett polipropilén varrat szilárdságára és a varrat hőhatásövezetére. PhD értekezés, BME Gépészmérnöki Kar Polimertechnika Tanszék, 2005
- [8] Thomas W. M.: A kavaró dörzshegesztés továbbfejlesztése. Hegesztéstechnika, 14 (2003), 5-8
- [9] Mishra R. S., Ma Z. Y.: Friction stir welding and processing. Materials Science and Engineering, 50 (2005), 1-78
- [10] Thomas W. M., Andrews R. E.: High performance tools for friction stir welding (FSW), International Patent Application WO 99/52669, 1999
- [11] Marczis B., Czigány T.: Interrelationships between welding parameters of hot-gas welded polypropylene. Polymer Engineering and Science, 46 (2006), 1173-1181