

# HEGESZTETT POLIAMID ÁLLAPOTVIZSGÁLATA ÉS TÖRÉSI TULAJDONSÁGAI

Németh András  
PhD hallgató

Dr. Czigány Tibor  
egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki Egyetem, Gépszerkezettani Intézet, Gépelemek Tanszék

## 1. BEVEZETÉS

A műszaki műanyagok hegesztése régóta elterjedt a csővezetékek és csomagolófóliák kötésénél. Hazai és nemzetközi szakirodalma jól kidolgozott, a gyakorlatban számos eljárás áll a szakemberek rendelkezésére (pl.: polifúziós-, ultrahangos-, tűkőr-, vibrációs-, rotációs-, indukciós hegesztés stb.) [1, 2]. Az eljárások és a felhasznált anyagok fejlődésének köszönhetően a hegesztéses technikát egyre gyakrabban alkalmazzák polimer anyagú nagyszilárdságú, teherviselő alkatrészek kötésére is. A hegeszthetőség nemcsak a gyártás, hanem a javítás és újrafeldolgozás szempontjából is fontos, amelynek környezetvédelmi kihatásai is vannak. A polimer, mint szerkezeti anyag más – műszaki gyakorlatban alkalmazott – anyagokhoz viszonyított arányának növekedésével párhuzamosan a hegesztési eljárások fokozott elterjedését tapasztalhatjuk. A hegesztési technikák jellegét tekintve, gyakorlatilag a fémekéhez hasonló eljárásokról van szó. Természetesen a műanyagoknál is a minél nagyobb szilárdságú, kohéziós kapcsolat létrehozása a cél. A polimerek és fémek jól ismert anyagszerkezettani eltérése azonban – más műszaki területekhez hasonlóan – itt is számos problémát vet fel [3]. A műanyagok mechanikai viselkedése molekuláris felépítésük miatt számos tekintetben eltér a hagyományos szerkezeti anyagokétól. A monomerek kapcsolódása révén kialakult polimer láncok alakja, ha térhálós, akkor a polimer nem vihető folyékony halmazállapotba, így nem is hegeszthető (ezek a hőre keményedő polimerek). Csak azok a polimerek hegeszthetők, amelyeknél a polimer lánc lineáris ill. elágazott óriásmolekulákból állnak (ezek a hőre lágyulók). A hőmérséklet növekedésével a láncmolekulák, un. Brown-féle makrohő-

mozgása oly mértékben fokozódik, hogy képes felszakítani az óriásmolekulák közötti szekunder kapcsolatokat, így azok egymástól függetlenednek, ami az anyag folyékony halmazállapotához vezet. Annál tökéletesebb a hegesztés során kialakult varrat, minél sűrűbben és mélyebben hatolnak egymásba a szabad láncvégek.

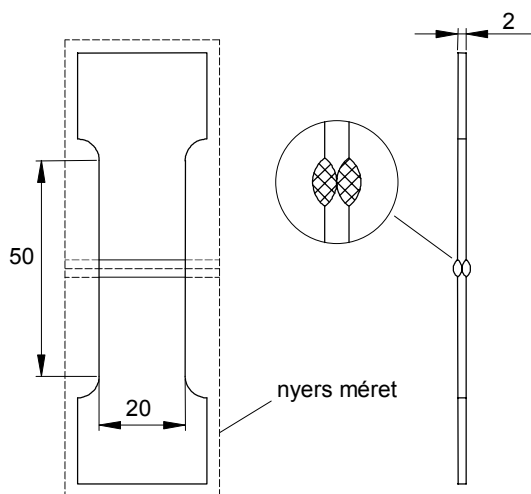
Az 1993-ban Országos Képzési Jegyzékbe felvett (<http://www.sztaki.hu/netahtml/nszi/>) műanyag hegesztő képesítés jelzi az ipar érdeklődését a szakterület iránt. Kizárólag ezzel, azonban még nagyon kevés vállalkozás foglalkozik. Néhányan a gépjárműjavításra szakosodtak. A járműjavítás legelterjedtebb kézi módszere a forrógázos hegesztés, amely a legtöbb műszaki műanyag (PVC, PE, PP, PA, PC, ABS) kötésére alkalmas. Az ilyen módon javított alkatrészek (lökhárítók, műanyag hűtőalkatrészek, lámpatestek, spoilerok stb.) nemcsak a felhasználónak jelentenek nagymértékű megtakarítást, hanem az adott elem élettartamának növelésével a hulladékképződés is csökken. Figyelembe véve a rendkívül magas szerszámköltségeket a műanyaggyártásban, érdemes megfontolni a bonyolult szerszámok részleges kiváltását hegesztett félkész- vagy késztermékek tervezésével.

Ezek után az a kérdés vetődik fel, hogy a hegesztéssel javított (esetleg gyártott) termékek mennyire őrzik meg az alapanyagnak megfelelő tulajdonságaikat, milyen módszerekkel lehet befolyásolni a varratminőséget és az adott esetben gazdaságos-e az eljárás. A közlemény elsősorban szilárdsági szempontból egy szakítóvizsgálat kapcsán próbál betekintést nyújtani a nagyszilárdságú hegesztett műanyag kötések témakörébe.

## 2. ANYAG

A Vizsgálatainkat PA-6 típusú mátrixra végeztük, mivel a gépészetben használatos egyik leggyakoribb anyag tekintve kiváló síklási tulajdonságait, önkénő jellegét, jó kopásállóságát, hőállóságát, mechanikai szilárdságát, olajállóságát és jó hegeszthetőségét [4]. A próbatetek kiinduló lemezei a ZOLTEK Magyar Viszkóza RT által gyártott PA-6 granulátumból, egy SCHWABENTAN Polystat 300s típusú, két etázsos présgépen készültek a Műanyag Kutató és Fejlesztő Kft. laboratóriumában. Az így előállított alapanyag a röntgen-diffrakciós vizsgálatok alapján orientációmentesnek bizonyult, ezért a próbatetek kialakítása során az irányfüggőséggel nem kellett számolni.

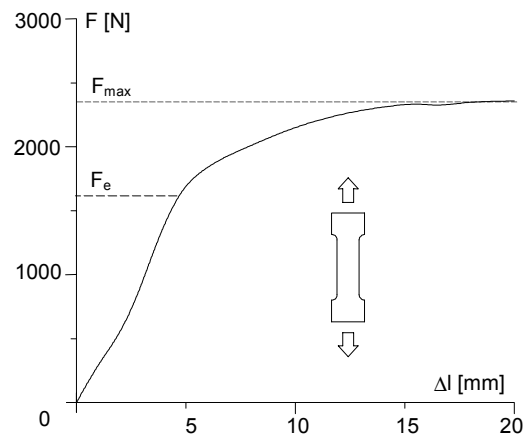
Vizsgálatainkhoz az 1. ábra szerinti növelt szélességű, szabványos [5] piskóta alakú próbatestet alkalmaztunk annak érdekében, hogy a nagyobb effektív varrathossz mentén jobban érzékelhető legyen a repedési irány és a törési viselkedés. A próbatetek a nyers méretű előhegesztett alaplemezből úgy lettek kifarva, hogy a varrat bekezdést és kifutást ne tartalmazzák. A hegesztési hozanyag a varrat minél jobb szilárdsága érdekében speciális PA-6 hegesztőpálca volt, amelynek színét feketére választottuk, hogy a töretfelületek elemzése során a fehér alapanyag jól elkülönüljön a hozanyagtól. A hegesztéseket LEISTER típusú forrógázos kézi hegesztő-berendezéssel végeztük.



1. ábra A hegesztett próbatest kialakítása

## 3. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

Vizsgálataink alapvető célja az alapanyag és hegesztési varrat szilárdságának összehasonlítása volt. Ennek érdekében ZWICK 1445-ös univerzális szakítógépen varrat nélküli és hegesztett piskóta próbatesteket vizsgáltunk szobahőmérsékleten 10 mm/min szakítási sebesség mellett. Az alapanyag szakítódigramja a 2. ábrán látható, ahol  $F_{max}$  a maximális szakítóerőt  $F_e$  a rugalmassági tartomány határát jelöli.



2. ábra Alapanyag szakítódigramja

Az ábrán a szívós tulajdonságú polimerekre jellemző képet láthatunk, amelyen jól elkülöníthető a közel lineáris rugalmas szakasz és az ún. *crazing* jelenséggel összefüggő "folyási" tartomány.

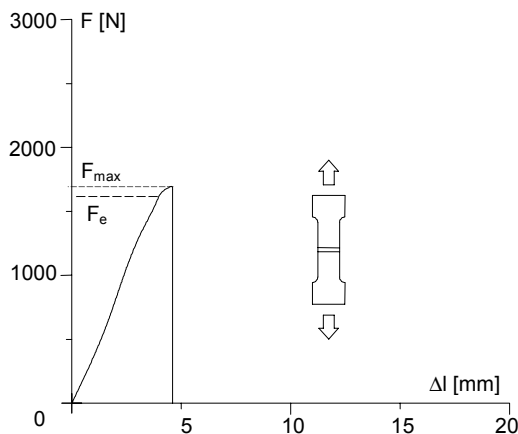
Ezt a megfigyelést támasztja alá a próbatest töretképe is (3. ábra), ahol jól látszik a feszültségfehéredés jelensége, amelyet a mikrorepedezések okoztak. Így inkább tépődésről, mint törésről vagy repedésről van szó.



3. ábra Alapanyag töretképe

Az 4. ábrán egy hegesztett próbatest szakítógörbéje látható, ahol már csak a rugalmas tartomány figyelhető meg, az előzővel szinte azonos erő- és nyúlásértékek mellett. Ez nem azt jelenti, hogy az anyag teljes egészében elridegedett, hanem azt,

hogy a hegesztett kötés az alapanyag rugalmassági határa környékén elszakadt. Annak ellenére, hogy a szilárdsági méretezéseknél általában a rugalmassági határt vesszük figyelembe, számolnunk kell nemcsak a szilárdsági értékek csökkenésével, hanem az alapanyag minőségi, szilárdsági változásával is, beleértve a törésmechanikai mérőszámok kedvezőtlen alakulását is [6].



4. ábra Hegesztett próbatest szakítódigramja

Vizsgálataink további célja a polimerek hegesztésénél a varrat szilárdságát befolyásoló számos hatótényező közül (hegesztés hőmérséklete, hegesztési sebesség, lehűlés körülményei és sebessége, stb.) az ipari felhasználó számára változtatható hegesztési gázhőmérséklet hatásának tanulmányozása volt. Ez a paraméter a hegesztő-berendezéseken állítható és a kiáramló gáz hőmérsékletét jelzi. Természetesen ez nem egyezik meg a vizsgálati anyag ömledék állapotba hozatalához szükséges hőmérséklettel, annál sokkal nagyobb. Esetünkben a PA-6 230 °C-on kerül ömledék állapotba, azonban hogy a forró levegő a hegesztés környezetében ilyen hőfokú legyen, kb. 450°C gázhőmérséklet szükséges a hegesztő-berendezés gépkönyvének ajánlása szerint.

Méréseinket 400-500°C között végeztük 10 °C-os lépésközzel. Az így szétszakított próbatestek során mért erőértékek ( $F_{max}$ ), valamint a varratszilárdság ( $k$ ) értékei az 1. táblázatban láthatók, ahol

$$k = \frac{F_{max}}{F_{max0}} \cdot 100\% \quad (1)$$

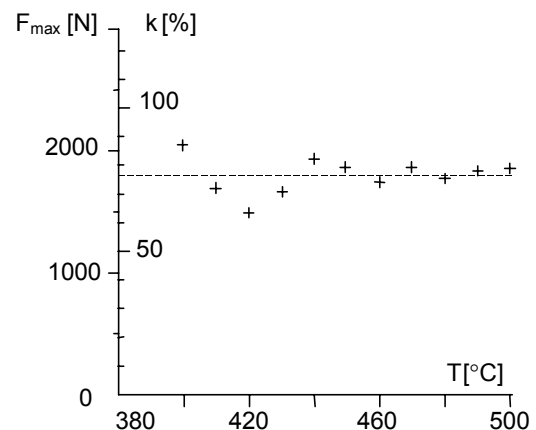
$F_{max}$  az adott hőmérséklethez tartozó ma-

ximális szakítóerő,  $F_{max0}$  (2353 N) az alapanyag maximális szakítóereje.

T [°C]	$F_{max}$ [N]	k [%]
400	2043	87
410	1692	72
420	1494	63
430	1662	71
440	1935	82
450	1866	79
460	1748	74
470	1886	80
480	1766	75
490	1848	79
500	1865	79

1. táblázat Mérési eredmények

A mérési eredmények grafikus ábrázolása jól szemlélteti (5. ábra), hogy a varratszilárdság alapvetően nem függ a hegesztő-berendezésen állítható gázhőmérséklettől.

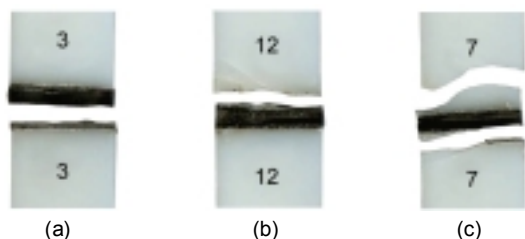


5. ábra A varratszilárdság a kiáramló gáz hőmérsékletének függvényében

Ez persze nem azt jelenti, hogy a varrat minőségét nem befolyásolja a hőmérséklet, azonban ez a hőmérséklet nem egyezik meg a kiáramló gáz hőmérsékletével.

#### 4. ÉRTÉKELÉS

A mérési eredményekből és a hegesztett próbatestek töretekéből (6. ábra) megállapítható, hogy függetlenül a hegesztési hőmérséklettől a tönkremenetel különböző formában, de mindig a hegesztési varrat mentén történt, ami alapvetően három okra vezethető vissza.

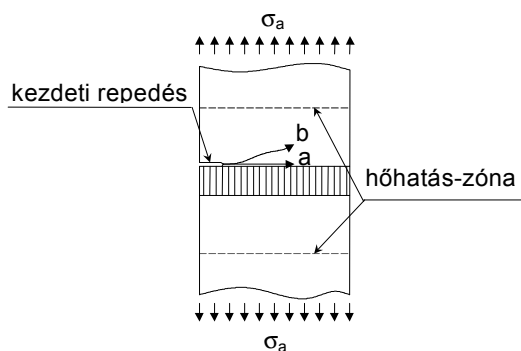


6. ábra Hegesztett PA-6 tönkrementele: (a) varrat kihúzódás; (b) egyoldali repedés; (c) kétoldali repedés

Először is a hegesztés során olyan mértékű hőbevitel történt, hogy a részben kristályos poliamidban, olyan szövetszerkezeti átalakulások, mentek végbe, ami az alapanyag helyi ridegedéséhez vezetett, ami a hűlési sebességgel hozható összefüggésbe. Így kb. 25%-kal csökkent a szakítószilárdság az alapanyaghoz viszonyítva. Ezen kívül az anyag viselkedése minőségileg változott meg.

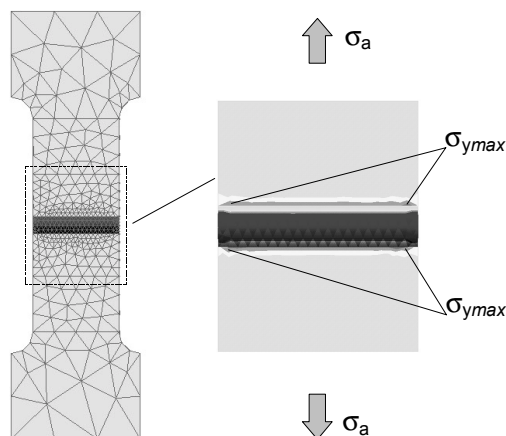
Másodszor figyelembe kell venni, hogy homogén, teljesen kitöltött varrat még a legkörültekintőbb technikával sem hozható létre. Az anyagfolytonossági hibák és a fent említett hőhatás miatt könnyen kialakulnak a kezdeti repedések [7] a varrat mentén. Az ezekből elinduló repedési vonalak viszonylag homogén hőhatás-zóna esetén a 7. ábrán látható „a” vonal mentén haladnak tovább, azaz a varrat szélén (6/b ábra). Ha a hőhatás-zóna inhomogén (éles fázishatárokat tartalmaz), abban az esetben a „b” úton, a fázishatárok mentén terjednek, akár több helyről egyszerre kiindulva (6/c ábra). Abban az esetben, ha nem jön létre kohéziós kapcsolat, varratkihúzódás tapasztalható (6/a ábra), ami mindenképpen kerülendő, mivel ez az eset szolgálja a legalacsonyabb (jelen esetben 63%) varratszilárdságot. Harmadszor figyelembe kell venni a geometriai feszültséggyűjtő hatást is, amely még a legoptimálisabb varratgeometria esetén is helyileg jelentősen meghaladja a terhelésből számítható névleges feszültséget.

Ezt szemlélteti a 8. ábrán látható végeeselemes modell, amely a 4 mm-es nyúlásértékéhez tartozó minőségi feszültségeloszlást mutatja.



7. ábra Repedésterjedés hegesztett kötésben

Ez a hatás bonyolultabb geometria és/vagy terhelés mellett (pl.: sarokvarratok, csőkötések) még fokozottabb lehet [8].



8. ábra A hegesztési varrat minőségi feszültségeloszlása húzó igénybevétel esetén

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Összegezve tehát megállapítható, hogy a forrógázos technológiával hegesztett poliamid esetén számolnunk kell a létrejövő kötés szilárdságának csökkenése mellett a varratmenti kedvezőtlen anyagszerkezeti átalakulással is. Meg kell említeni továbbá, hogy a fenti eredményeket érdemes kiegészíteni további mérésekkel (mikromorfológia, törésmechanika), amely még pontosabb képet ad a felhasználó szakemberek számára. Mindezek alapján a közlemény célja az, hogy a problematikák bemutatása mellett népszerűsítse mind a nagyszilárdságú hegesztési eljárások alkalmazását, mind az ezekhez kapcsolódó vizsgálati módszerek kidolgozását.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk megköszönni az Oktatási Minisztérium (nyilvántartási szám: FKFP 0089/1999) anyagi támogatását. Köszönet a ZOLTEK Magyar Viszkóza RT-nek a rendelkezésünkre bocsátott PA6 kísérleti alapanyagért.

## 7. IRODALOM

- [1] Horváth, I.: Műanyagcsövek hegesztése és minőségellenőrzése  
BME-MTI, 1987
- [2] Gáti, J.: Hegesztési Zsebkönyv  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1996
- [3] Molnár, I. - Almásiné Pető, E. - Seder, J. - Csikai, I.: Műanyagok hegedési folyamatai és a hegesztési eljárások problémái  
Műanyag és Gumi, 33,1996, 339-348
- [4] Fűzes, L.: Műanyagok, anyag- és technológia kiválasztás  
Bagolyvár Könyvkiadó 1994.
- [5] DIN 53455 Zugversuch, 1981
- [6] Czigány, T. - Marosfalvi, J.: Poliamid-6 törésmechanikai vizsgálata a hőmérséklet és az igénybevételi sebesség függvényében  
Műanyag és Gumi, 35,1998, 284-288
- [7] Sumi, Y.: A Second Order Perturbation Solution of a Non-Collinear Crack and Its Application to Crack Path Prediction of Brittle Fracture in Weldment. J.S.N.A. Japan, Vol. 165, June 1989 and Vol. 166, Dec. 1989
- [8] Handbook of plastics joining. A practical guide  
Plastics Design Library Publication, 1996