



Polipropilénlemezek ultrahangos hegesztésének optimalizálása

Optimization of Ultrasonic Welding of Polypropylene Sheets

Schramkó Márton,¹ Stadler Róbert Gábor,¹ Pinke Péter,² Kovács Tünde Anna²

¹ Óbudai Egyetem, Anyagok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország,
schramko.marton@bgk.uni-obuda.hu, stadler.robert@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország,
pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

Nowadays, polymers have grown into a leading group of materials. Accordingly, many technical polymers are used in industry. As the ending knee absorption increases, the binding design is also being studied continuously. In addition to mechanical and glued joints, different welding processes stand out, such as laser welding, stirrer friction welding, and ultrasound welding. The research was carried out on polypropylene, the plastic called PP. The aim of the study is to examine the ultrasonic welding of polypropylene sheets. During welding processes, we examine the effect of parameters such as welding time, amplitude and main load on the strength of the welding seam. Based on the test results, it was possible to create high-quality joints. The highest seam strengths were obtained with a welding time of 1.2 s and an amplitude of 55 μm . The effect of the main load on the strength of the seams was minimal.

Keywords: *ultrasonic welding, polypropylene, welding strength.*

Összefoglalás

Napjainkban a műanyagok vezető anyagcsoporttá nőttek ki magukat. Az iparban ennek megfelelően számos műszaki polimert alkalmaznak. Miután egyre nagyobb a térnyerésük, a kötés kialakítása is folyamatos kutatás tárgya. A mechanikai és ragasztott kötések mellett kiemelkednek a különböző hegesztési eljárások, mint a lézeres hegesztés, kavará dörzshegesztés vagy az ultrahangos hegesztés. A kutatást a polipropilén műanyagra végeztük el, a tanulmány célja, hogy megvizsgáljuk a polipropilénlemezek ultrahangos hegesztését. A hegesztési folyamatok során olyan paraméterek hatását vizsgáljuk a hegesztési varrat szilárdságára, mint a hegesztési idő, amplitúdó és főterhelés. A vizsgálati eredmények alapján jó minőségű kötésekkel sikerült létrehozni. A legnagyobb varratszilárdságokat 1,2 s hegesztési idő, valamint 55 μm amplitúdó mellett kaptuk. A főterhelés hatása minimális volt a varratok szilárdságára.

Kulcsszavak: *ultrahangos hegesztés, polipropilén, kötésszilárdság.*

1. Bevezetés

A műanyagok az elmúlt évtizedekben vezető anyagcsoporttá váltak. Ennek következtében napjainkban nehezen találunk olyan iparágat, ahol ne találkoznánk valamilyen műanyaggal. Az elterjedés mellett meg kellett oldani az anyag jó minőségű, gazdaságos és termelékeny kötéstechológiáját. Az ismert eljárásfajták közül kiemelkedik a ragasztás és a hegesztés. Mind a két típus

népszerű kutatási területnek számít a mai napig, és folyamatosan jelennek meg velük kapcsolatban publikációk. A ragasztás esetén a különböző felületkezelési eljárások hatásának, valamint különböző ragasztóanyagok alkalmazásának a vizsgálatát lehet kiemelni [1, 2].

A műanyagok hegesztésével kapcsolatban a lézeres hegesztés [3], a kavará dörzshegesztés [4], valamint az ultrahangos hegesztés emelhető ki.

Az ultrahangos hegesztés minden olyan előnyös tulajdonsággal bír – jó kötési minőség, gyors, gazdaságos és automatizálható –, ami elősegíti, hogy mind a fémek, mind pedig a műanyagok esetén széles körben alkalmazzák ipari szinten, például az autóiparban [5, 6].

A széles körű ipari elterjedés erős gyakorlati hátteret ad ahhoz, hogy évről évre több publikáció és tanulmány jelenjen meg az ultrahangos hegesztés technológiájának fejlesztése és optimalizálása kapcsán. A témával kapcsolatban népszerűek az eltérő anyagminőségek hegesztésével (például réz és alumínium [7], fém-polimer [8]), műanyag-mátrixú kompozitok hegesztésével [9], illetve a paraméterek optimalizálásával [10] foglalkozó vizsgálatok. Végezetül, mind a polimer anyagok, mind pedig az ultrahangos hegesztés technológiájának széles körű elterjedése elősegítette a műanyagok ultrahangos hegesztésével kapcsolatos tanulmányok számának növekedését.

Kiss és társai [9] polipropilénmátrixú kompozitlemezek (APPC) ultrahangos hegesztését vizsgálták. A folyamatparaméter, amit a vizsgálatok során változtattak, a hegesztési idő volt. A hegesztési mintákat 0,1 és 1,0 mp időtartományban állították elő. A hegesztési folyamat után vizsgálták a varrat szilárdságát. A kapott eredmények alapján sikerült elérni az alapanyag kötési szilárdságát.

Kawasaki és társai [10] szénszál-erősítésű, polipropilénmátrixú kompozit (CF/PP) ultrahangos hegesztése során bekövetkező hőmérséklet-eloszlást vizsgálták. A vizsgálatok során 3-3 szinten változtatták a szonotróda amplitúdóját és a hegesztési időt. A hőmérséklet és annak eloszlásának mérésén kívül egylapos nyírási vizsgálatokat végeztek a hegesztett kötéseken. A vizsgálatok megerősítették, hogy a szonotróda amplitúdójának jelentős hatása mind a hegesztés közbeni hőmérséklet-eloszlásra, mind a kötés minőségére, befolyásolva a meghibásodás módját.

Raza és társai [11] PP- és ABS-lapok ultrahangos hegesztését vizsgálták Taguchi-kísérletterv segítségével. A vizsgálatok során a két különböző, hőre lágyuló műanyag mellett kétféle energiai irányító geometriát (háromszög és félkör alakú), a hegesztési időt, az amplitúdót és a nyomást is változtatták. A hegesztés után a varratok teherbírását nyíró-szakító vizsgálattal értékelték. Ezen kívül paraméterként tekintettek a hegesztési energiára is. A vizsgálati eredmények alapján a PP és az ABS hasonló tendenciát mutatott a paraméterek tekintetében, valamint mind a két anyag esetében a háromszög alakú energiai irányító jobb kötést hozott létre.

Rajput és társai [12] a hegesztési változók (például hegesztési idő, tartási idő, amplitúdó stb.) hatását vizsgálta H110MA polipropilén ultrahangos hegesztése során. A fentebb említett paramétereket 3-3 szinten változtatták a szerzők. A mérési pontok tervezésére Taguchi-, míg a kiértékelés során ANOVA-módszert alkalmaztak. A vizsgált kimeneti paraméter a leválasztási ellenállás volt. A mérési eredményeik alapján kimutatták, hogy az amplitúdó hatása a legnagyobb a szétválási ellenállásra.

Ahogy az említett publikációkban látható, a polipropilén (PP) anyagok ultrahangos hegesztése népszerű kutatási téma. Érdemes kiemelni, hogy a PP a második legnagyobb mennyiségben gyártott polimer anyag, és olyan vezető iparágakban alkalmazzák nagy mennyiségben, mint a jármű- vagy orvosi ipar [13].

Jelen tanulmány célja is a PP ultrahangos hegesztésének vizsgálata, a bemeneti paraméterek optimalizálása és azok hatása a hegesztési varrat szilárdságára.

2. Anyag és módszertan

A vizsgálataink során 4 mm vastag DOCAP-RÉN-H polipropilénlemezeket hegesztettünk össze. A hegesztési kísérleteket BRANSON típusú ultrahangos hegesztőgéppel hajtottuk végre, a lemez 10 mm széles volt, az átlapolás szintén 10 mm, ezáltal a pontkötésünk 100 mm² területű, a lemezek hossza pedig 70 mm (lásd 1. ábra).

A szakirodalom áttekintése alapján két kísérlet-sorozatot hajtottunk végre. Az egyik kísérlet-sorozatban állandó értéken tartottuk az amplitúdót (55 µm), az előterhelést (0,2 MPa) és a főterhelést



1. ábra. A kísérletekhez alkalmazott hegesztőgép

(0,4 MPa); a diagramokon a terhelést PSI-ben adjuk meg, miként a gépen is. Eme állandó értékek mellett változtattuk a hegesztési időt 0,7 és 1,3 s között 0,1 s-os lépésközlőként. Az itt kapott eredmények alapján terveztük meg a második kísérletsorozatot, ahol a főterhelést és az amplitúdót módosítottuk 3-3 szinten az **1. táblázat** alapján.

1. táblázat. A hegesztési paraméterek értékei

Paraméterek		Szintek		
		-1	0	1
x_1	Főterhelés, psi-ben	45	50	55
x_2	Amplitúdó, μm	50	55	60

A hegesztési varratok minőségét a szakításhoz szükséges terheléssel jellemeztük. A vizsgálatokat ELT – Schaltschrank típusú szakítógéppel vizsgáltuk, az elmozdulás sebessége 10 mm/perc volt.

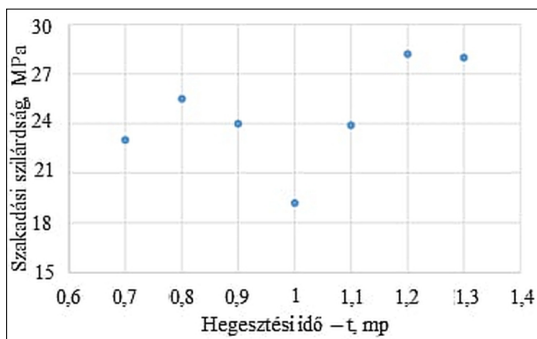
3. Eredmények

3.1. A hegesztési idő hatása

Az első kísérletsorozatban a hegesztési időt változtattuk. A kapott eredményeket grafikusán a **2. ábrán** szemléltettjük.

Az ábrán jól megfigyelhető, hogy jelentős a befolyása a hegesztési időnek a varrat szilárdságára. A tesztek során minden vizsgált ponton 15 hegesztést végeztünk; az ábrán ezek átlaga látható. A legrosszabb minőségű kötést 1 s-os hegesztési idő mellett kaptuk (18,5 MPa), míg a legnagyobb értéket 1,2 s mellett mértük, ekkor a varrat szilárdsága 28,2 MPa volt.

Az ábrán továbbá jól megfigyelhető az ultrahangos hegesztésre jellemző, a hegesztési idő hatására ingadozó hegesztési minőség, ami általában megfigyelhető a keménységparaméter változásában is a távolság függvényében [7].



2. ábra. A varratok szilárdságának alakulása a hegesztési idő függvényében

3.2. A főterhelés és az amplitúdó hatása

Az első kísérletsorozat alapján megállapítottuk, hogy a legnagyobb varratszilárdságot 1,2 mp mellett kapjuk. Ezért ezt a hegesztési időt állandó értéken tartva végrehajtottuk az **1. táblázat**ban feltüntetett bemeneti változók mellett a második kísérletsorozatot. Teljes kísérlettervet alkalmaztunk, így az összes paraméter-kombinációt vizsgáltuk (9 mérési pont).

Az eredményeket grafikusán a **3. ábrán** szemléltettjük.

Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a főterhelésnek jelentősen kisebb a hatása a varratszilárdságra, mint az amplitúdónak. Az amplitúdóváltoztatásnál viszont jól megfigyelhető, hogy a legnagyobb értékeket 55 μm -en kaptuk.

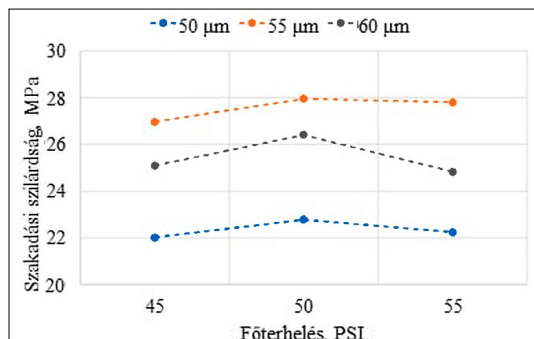
4. Következtetések

A kísérleti eredmények az eddigi szakirodalmi eredményeket alátámasztják. A jelenlegi kutatás alapjánál levont következtetések a következők:

- A legnagyobb szakadási szilárdságot 1,2 mp-es hegesztési idő mellett kaptuk.
- Az amplitúdó változtatása nagyobb befolyással volt a varratok szilárdságára, mint a főterhelés változtatása.
- A legnagyobb varratszilárdságot 55 μm amplitúdó mellett mértük.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Hamdi M., Saleh M. N., Poulis, J. A.: *Improving the adhesion strength of polymers: Effect of surface treatments*. Journal of Adhesion Science and Technology, 34/17. (2020) 1853–1870.
<https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1732750>
- [2] Cui C., Liu W.: *Recent advances in wet adhesives: Adhesion mechanism, design principle and applications*. Progress in Polymer Science, 116. (2021) 101388.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101388>



3. ábra. A varratok szilárdsága az amplitúdó és a főterhelés függvényében

- [3] Acherjee B.: *Laser transmission welding of polymers – A review on process fundamentals, material attributes, weldability, and welding techniques*. Journal of Manufacturing Processes, 60. (2020) 227–246.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.10.017>
- [4] Stadler R. G., Horváth R.: *Investigation of Welding Forces and Weld Strength for Friction Stir Welding of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Plates*. Acta Materialia Transylvanica 6/1. (2023) 53–58.
<https://doi.org/10.33924/amt-2023-01-09>
- [5] Kumar S., Wu C. S., Padhy G. K., Ding W.: *Application of ultrasonic vibrations in welding and metal processing: A status review*. Journal of Manufacturing Processes, 26. (2017) 295–322.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.02.027>
- [6] Schramkó M., Nyikes Z., Pinke P., Tóth L., Kovács T. A.: *Experimental Study of a Vehicle Component Ultrasonic Welding Failure*. In: International Scientific Conference Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East, January 2023. Cham, Springer Nature Switzerland, 2023. 548–554.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-36960-5_62
- [7] Schramkó M., Nyikes Z., Jaber H., Kovács T. A.: *Dissimilar Joining by Ultrasonic Welding*. Journal of Hunan University Natural Sciences, 49/3. (2022).
<https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.3.20>
- [8] Temesi T., Czigan T.: *Integrated Structures from Dissimilar Materials: The Future Belongs to Aluminum–Polymer Joints*. Advanced Engineering Materials, 22/8. (2020) 2000007.
<https://doi.org/10.1002/adem.202000007>
- [9] Kiss Z., Temesi T., Bitay E., Bárány T., Czigan T.: *Ultrasonic welding of all-polypropylene composites*. Journal of Applied Polymer Science, 137/24. (2020) 48799.
<https://doi.org/10.1002/app.48799>
- [10] Kawasaki S., Naito K., Ishida O., Shirai T., Uzawa K.: *Infrared-thermography measurement of temperature distribution in carbon fiber–reinforced polypropylene during ultrasonic welding*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 177. (2024) 107887.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2023.107887>
- [11] Raza S. F., Khan S. A., Mughal M. P.: *Optimizing the weld factors affecting ultrasonic welding of thermoplastics*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 103/5. (2019). 2053–2067.
<https://doi.org/10.1007/s00170-019-03681-7>
- [12] Rajput C., Kumari S., Prajapati V., Abhishek K.: *Experimental investigation on peel strength during ultrasonic welding of polypropylene H110MA*. Materials Today: Proceedings, 26. (2020). 1302–1305.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.259>
- [13] Bárány T., Karger-Kocsis J. (eds.): *Polypropylene Handbook: Morphology, Blends and Composites*. Springer International Publishing, 2019.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-12903-3>