

<b>PhD képzés féléves BESZÁMOLÓ / PhD programme semester REPORT</b>		
<b>PhD hallgató neve / PhD student's name:</b>	<b>Stadler Róbert Gábor</b>	
<i>Egyéni felkészülő?* (igen – nem) / Are you pursuing your studies through individual preparation?**(yes – no)</i>	nem	
<i>Tanulmányi félév / Semester:</i>	5	
<i>PhD képzés féléve / PhD training's semester:</i>	5	
<i>Doktori téma címe / Title of the doctoral research project:</i>	Kavaró dörzshegesztés technológiai vizsgálata	
<i>Témavezető(k) neve / Name of supervisor(s):</i>	Dr. Horváth Richárd	
<i>Kutatóhely / Research site:</i>	-	
<i>Telefon, e-mail / Phone, E-mail:</i>	06304329950, stadler.robert@bgk.uni-obuda.hu	
<b><i>Teljesített tantárgyak a képzés kezdetétől / Completed subjects from the beginning of the training programme</i></b>	<b><i>Teljesítés féléve / Semester when the subject was completed</i></b>	<b><i>Kredit / Credit</i></b>
<i>Forgácsolásteória</i>	<b>1</b>	<b>6</b>
<i>Szerkezeti anyagok károsodási folyamatainak elemzése</i>	<b>1</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási beszámoló I.</i>	<b>1</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási project I.</i>	<b>1</b>	<b>10</b>
<i>Acél folyamatos öntésével kapcsolatos jelenségek</i>	<b>2</b>	<b>6</b>
<i>Törésmechanika</i>	<b>2</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási beszámoló II.</i>	<b>2</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási project II.</i>	<b>2</b>	<b>10</b>
<i>Termikusan aktivált átalakulási folyamatok modellezése ötvözetekben</i>	<b>3</b>	<b>6</b>
<i>Empirikus modellek, matematikai modellezés</i>	<b>3</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási beszámoló III.</i>	<b>3</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási project III.</i>	<b>3</b>	<b>10</b>
<i>Műszaki polimerek</i>	<b>4</b>	<b>6</b>
<i>Hegesztéstechnológiák II.: Sajtoló hegesztések</i>	<b>4</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási beszámoló IV.</i>	<b>4</b>	<b>6</b>
<i>Kutatási project IV.</i>	<b>4</b>	<b>10</b>
<b>Összesen / Total:</b>		

\* Az egyéni felkészülők az űrlap esetükben nem releváns rovataiba írják be, hogy nem releváns

\*\* Hungarian student, who prepares individually, should include 'not relevant' in the not relevant column

**Oktatási tevékenység (óraszám, tárgynév – ha volt ilyen) /**

**Teaching experience (lesson number, subject name - if there was such activity)**

Heti 2 óra - Gyártástechnológia I. (BSc) /BGXGT13BNF/

Heti 4 óra – Gépszerkezettan (FOSZK) /BBXGS13FNF/ BBXGS13FLF

Heti 3 óra – Képlékeny alakítás és szerszámai (FOSZK) /BAXKA13FNF/ BAXKA13FLF

Heti 2 óra – Patronálás (BSc) /BTIPAT1BNF/

Heti 2 óra – Polimerek és ragasztásuk (MSc) / BAXPO13MLF/ BAXPO13MNF

**Témavezető(k) véleménye / Opinion of supervisor(s)**

A hallgató a témájával jól halad. Eddig megjelent a témában egy fontos IF-el rendelkező cikk. Az elmúlt féléves kísérletekből és kiértékelésükből még két komoly publikációt készített elő ebben a félévben. Ilyen ütemben a doktori téma a képzési idő alatt egyértelműen befejezhetőnek tűnik.

**Publikációk listája a PhD képzés kezdetétől /**

**List of publications from the beginning of the training programme**

<b>No</b>	<b>Cím / Title</b>	<b>Folyóirat vagy konferencia neve / Name of journal or conference</b>	<b>IF, Q</b>	<b>Összes kredit / Total credit</b>	<b>%</b>	<b>Kredit / Credit</b>
1	Investigation of Weld Forces and Strength of Friction Stir Welded Polypropylene	Periodica Polytechnica – Mechanical Engineering	1,3, Q3			
2	Investigation of Welding Forces and Weld Strength for Friction Stir Welding of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Plates	Acta Materialia Transylvanica (EN)	-			
3	Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) lemezek kavarási dörzshegesztésének erőtani és kötőszilárdsági vizsgálata	Acta Materialia Transylvanica (HU)	-			

4	Kavaró dörzshegesztett PP lemezeken fellépő hibák megjelenése CT felvételeken	Mérnöki Szimpózium a Bánkin előadásai : Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB 2022)	-			
5	Investigation of Friction Stir Welded Polycarbonate Plates	Acta Materialia Transylvanica (EN)				
6	Eltérő polimer lemezek kavaró dörzshegesztésének erőtani vizsgálata	Mérnöki Szimpózium a Bánkin előadásai : Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB 2023)				
	Polimerek kavaró dörzshegesztésének rövid áttekintése	XXXII. Nemzetközi Hegesztési Konferencia: Konferencia Kiadvány				
<b>Összesen / Total:</b>						

***A félév során végzett tudományos tevékenység rövid összefoglalása (10-15 sor) /***

***A short summary of the scientific activity of the semester (10-15 lines)***

A félév során két korábbi kísérletsorozat eredményeit vizsgáltam tovább.

Az egyik ilyen vizsgálat a különböző szerszám átmérőkön végzett hegesztési vizsgálatok voltak. Ezt a kísérletsorozatot két különböző anyagminőségen is elvégeztem (ABS és PP). Az erőmérés eredményei alapján megállapítható, hogy azonos hegesztési (kerületi) sebesség mellett a csap átmérőnek nincsen befolyása az eredő hegesztési erőre. Továbbá megállapítottam, hogy azonos hegesztési feltételek mellett PP esetén jelentősen nagyobb erők keletkeznek hegesztés során. A félév során az eddigi vizsgálatokat kiegészítettem az alapanyag szakítóvizsgálatával, keménységvizsgálatával, valamint a folyási mutatószámok kimérésével. Ez utóbbi paraméter mutatott olyan jelentős eltérést a két anyag között, amivel magyarázható a hegesztési erő értékek alakulása.

A félév során az átmérő vizsgálat és az eltérő szerszám pálya bizonyos varratait DSC vizsgálattal elemeztem, valamint a jövőbeli hegesztési hőmérséklet mérések előkészítéseként kimértem a hegesztett PP lemez emissziós tényezőjét.

**Mellékletek / Attachments:**

- Publikációk listája MTMT-ből kinyomtatva / List of publications printed from MTMT,
- A disszertáció tervezett tartalomjegyzéke / The planned table of contents of the dissertation,
- Részletes beszámoló (6-8 oldal) a félév során végzett kutatómunkáról és az elért eredményekről a disszertáció tervezett fejezetének megjelölésével / A detailed report (6-8 pages) on the research work carried out during the semester and the results achieved, indicating the planned chapter of the dissertation,
- Téziservezetek, amennyiben már vannak / Theses drafts, in case of availability.

Dátum / Date: 2024.01.09.



Dr. Horváth Richárd  
témavezető/  
supervisor



Stadler Róbert  
doktorandusz /  
PhD student

**Féléves beszámoló**  
**2024/25 őszi félév**

*PhD hallgató neve:*  
*Stadler Róbert Gábor*

*Neptun kódja:*  
**Q8JRUR**

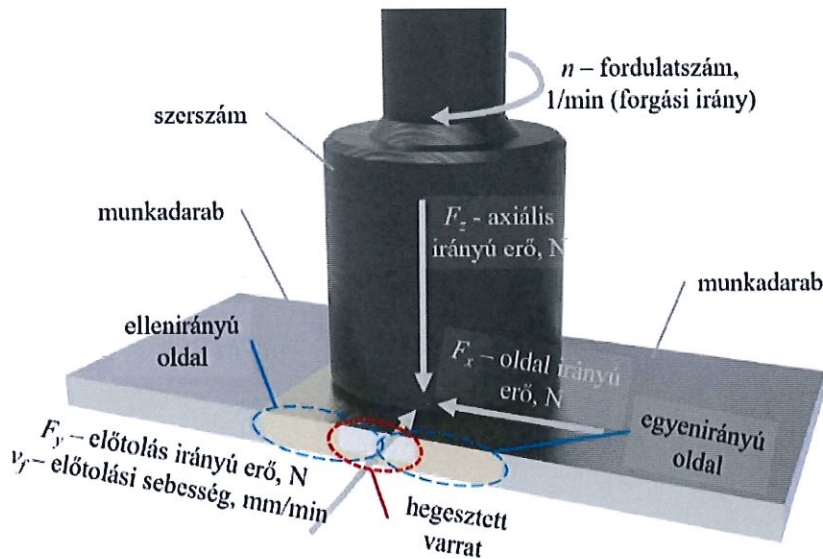
**Kutatási téma címe:**  
**Kavaró dörzshegesztés technológiájának fejlesztése**

**Témavezető:**  
**Dr. Horváth Richárd**  
**egyetemi docens**

# 1. Polimerek kavará dörzshegesztése

A különböző polimereket széleskörben alkalmazza az ipar. Kijelenthető továbbá az is, hogy mára már vezető anyagcsoporttá váltak. Az anyag elterjedésével meg kellett oldani annak magas minőségű és gazdaságos kötéstehnológiáját, amik közül kiemelkednek a hegesztési eljárások. A technológia egyre nagyobb elterjedése, valamint az erős ipari háttér miatt, a mai napig népszerű kutatási területnek számít a polimerek, polimer kompozitok, valamint polimer-fém elemek hegesztése [1,2]. Az egyes hegesztési eljárások közül kiemelhető az ultrahang-hegesztés [3], a lézersugaras hegesztés [4], valamint a kavará dörzshegesztés (Friction Stir Welding - FSW).

A kavará dörzshegesztés egy a mechanikai súrlódás elvén alapuló hegesztési technológia, amelyet a 90-es évek elején szabadalmaztattak [5]. A folyamat során az összeilleszteni kívánt lemezek illesztése mentén végig vezetnek egy forgó szerszámot. A szerszám és a lemezek között súrlódás lép fel, ami biztosítani fogja a hegesztéshez szükséges hőmérsékletet és a varrat létrejöttét. Az eljárással magas minőségű kötés hozható létre, emellett gazdaságos, környezetbarát és energiahatékony [6]. Bár ipari szinten egyelőre csak alumínium anyagra alkalmazzák, a polimerek kavará dörzshegesztésével kapcsolatban már a 2000-es évek eleje óta végeznek vizsgálatokat [7]. Az eddigi kutatásokat figyelembe véve a fentebb említett előnyök mellett érdemes kiemelni, hogy az FSW megoldást jelenthet a hőre lágyuló polimer kompozitok hegesztési problémájára, valamint vastagabb polimer lemezek hegesztésére is alkalmas [8]. A kavará dörzshegesztés sematikus ábrája és az folyamat során fellépő erő komponensek az 1. ábrán láthatóak.



1. ábra. A kavará dörzshegesztés sematikus ábrája

A polimerek kavará dörzshegesztésével a mai napig széles körben foglalkoznak, valamint az egyedi anyagokra vonatkozó vizsgálatok mellett több összefoglaló publikáció is született a témáról [9, 10]. A szakirodalom alapos áttekintése után azt a következtetést vontam le, hogy az eljárásra jellemző folyamat paramétereket három kategóriába lehet sorolni: anyag, szerszám, technológia. A 2. ábrán látható a polimerek kavará dörzshegesztésére jellemző folyamat paraméterek Ishikawa-diagramban összefoglalva. A folyamat paraméterek mind

befolyással vannak a hegesztés sikerességére és a varrat mechanikai és esztétikai tulajdonságaira.



2.ábra. A kavaro dörzshegesztés folyamat paramétereit

Az egyes kutatások ennek megfelelően ezeknek a folyamat paramétereknek a hatásait vizsgálja a hegesztési varratra. Az elmúlt 20 évben vizsgálták a széles körben elterjedt és nagy ipari jelentőséggel bíró műanyagokra a technológia alkalmazhatóságát (pl.: PP [11], ABS [12], PE [13]), a technológiai paraméterek (pl.: szerszám fordulatszám, előtolási sebesség, szerszám dőlésszög) változtatásának hatását a varratra, valamint ezen paraméterek optimalizálását [14, 15]. Végezetül érdemes kiemelni a hegesztő szerszámot, ahol nem csak a csap és vállrész méreteit és geometriai adottságait vizsgálták, hanem a különböző a klasszikus FSW szerszámtól eltérő szerszám konstrukciók hatását is vizsgálták, ahol a váll rész álló kialakítású volt [16], vagy ahol a szerszám fűtési funkcióval volt ellátva [17].

A bemeneti paraméterek mellett fontos kiemelni a folyamatot elemző és varrat minőségét jellemző vizsgálatokat. A leggyakrabban vizsgált kimeneti paraméter az egyes szakirodalmakban a varrat szilárdsága és annak viszonya az alapanyag szilárdságához [10], amit a kötési hatékonysággal (joint efficiency – JE, %) fejeznek ki:

$$JE [\%] = \frac{\sigma_{\text{hegesztett kötés}}}{\sigma_{\text{alapanyag}}} \quad (1)$$

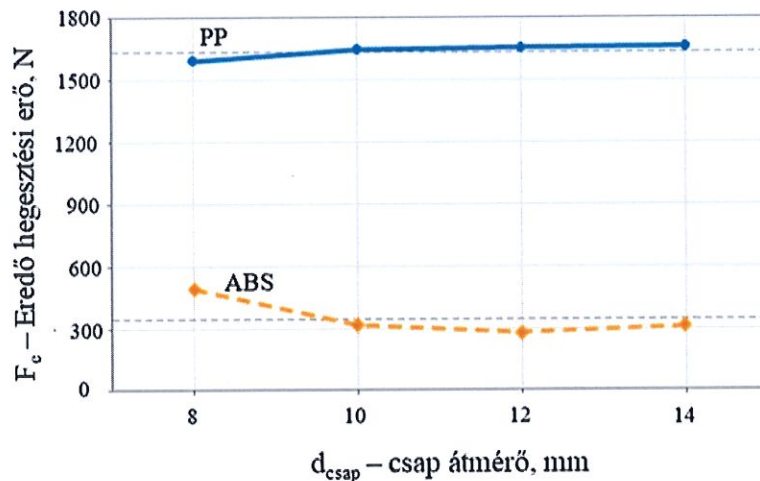
A roncsolásos vizsgálatok közül még gyakori a keménységmérés, az ütvehajlító vizsgálat és a hárompontos hajlítás. A varratképet, és a varratban található hegesztési hibákat különböző optikai vizsgálatokkal (mikroszkóp, CT) jellemzik az egyes tanulmányokban, továbbá a hegesztett polimer anyag és a varrat morfológiáját differenciál pásztázó kalorimetriával (DSC) jellemzik és figyelik az eltéréseket [11,18]. Végezetül érdemes kiemelni azokat a vizsgálatokat, amik a hegesztési folyamatot jellemzik, ilyen a különböző erő- és hőmérsékletmérések [19,20].

## 2. Szerszámátmérő vizsgálat

Egy korábbi félévben elvégzett kísérletsorozatban a szerszám átmérő hatását vizsgáltam a hegesztés során fellépő erőkomponenseket ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $F_e$ ) valamint a varrat szakító szilárdságára. A vizsgálatokat 4 különböző szerszám átmérőn (8, 10, 12, 14 mm) és 2 különböző anyagminőségen (ABS és PP) hajtottam végre. A szakirodalomban elvégzett vizsgálatokkal ellentétben, nem a fordulatszámot ( $n$ ) vettem állandó értékre, hanem a szerszám kerületi (hegesztési) sebességét ( $v_w$ ).

A hegesztett mintákból kimunkált szakító próbatestek vizsgálati eredményeiből azt a következtetést vontam le, hogy a PP esetén a 12 mm átmérőjű szerszám, míg ABS esetén a 14 mm átmérőjű szerszám mellett érhető el magasabb szakító szilárdság.

Az erőmérések eredményeiből azt a következtetést vontam le, hogy azonos hegesztési sebesség ( $v_w$ ) mellett, mind az ABS, mind a PP anyag esetén a szerszám átmérőnek nincs befolyása az eredő hegesztési erőre (lásd 2. ábra)



2. ábra Az eredő hegesztési erő ( $F_e$ ) a csap átmérő függvényében

Ezenkívül érdemes kiemelni, hogy azonos hegesztési körülmények között PP esetén jelentősen nagyobb erő értékek (~4,6-szoros) keletkeznek, mint ABS esetén. A félév során a két alapanyag olyan tulajdonságait vizsgáltam mérésekkel, mint a szakítószilárdság, a keménységmérés, valamint a folyási mutatószámok. Az alapanyag mért anyagtulajdonságai közül sem a szakítószilárdság, sem a keménységi paraméterek nem indokolják az ilyen mértékben történő eltérést, azonban az alapanyagok MFI (Melt Flow Index) és MVR (Melt Volume Ratio) értékei között jelentős eltérések vannak, amik már összefüggésbe hozhatóak a mért erőértékekkel. Az ABS esetében a mért folyási mutatószámok jelentősen magasabbak, mint a PP esetében (1. táblázat). Feltételezve, hogy azonos hegesztési feltételek mellett közel azonos hegesztési hő keletkezik az ABS magasabb folyási mutatószámai miatt azonos hőmérsékleten képlékenyebb állapotban van, így kevesebb ellenállást fejt ki a szerszámra.

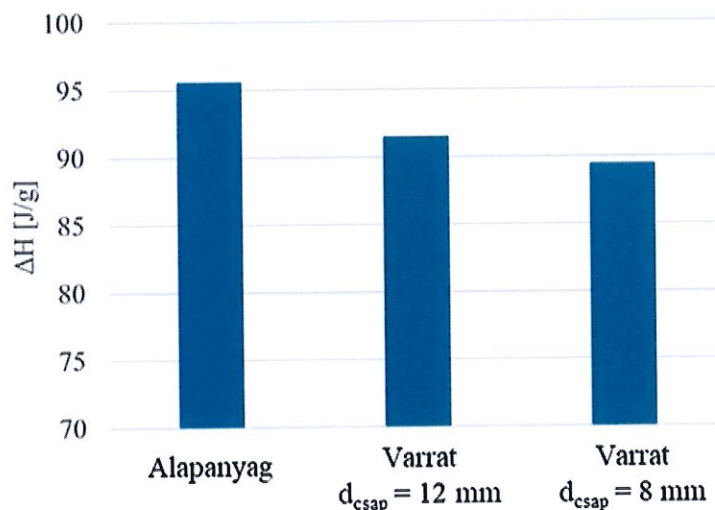


1. táblázat A vizsgálatok során alkalmazott alapanyagok mért anyagtulajdonságai

Tulajdonság	PP	ABS
Szakítószilárdság, MPa	28,8	29
Keménység (Shore D)	73	76
MFI <sub>(230 °C, 2,16 kg)</sub> , g/10perc	0,623	1,920
MVR <sub>(230 °C, 2,16 kg)</sub> , cm <sup>3</sup> /10perc	0,832	1,986

A szakító vizsgálat eredményeinek a függvényében, a legalacsonyabb és legmagasabb szakítószilárdság értékeket eredményező varratokat és az alapanyagot is DSC elemzésnek vetettem alá. A vizsgálatokat egy DSC Q2000-es berendezéssel végeztem el. Mind a két anyag esetén Heat-Cool-Heat programot alkalmaztunk, 10 °C/perc hőmérséklet változási sebességen. A PP mintákat -50 °C és 210 °C között, míg ABS mintákat 25 °C és 160 °C közötti hőmérséklet tartományokon vizsgáltam.

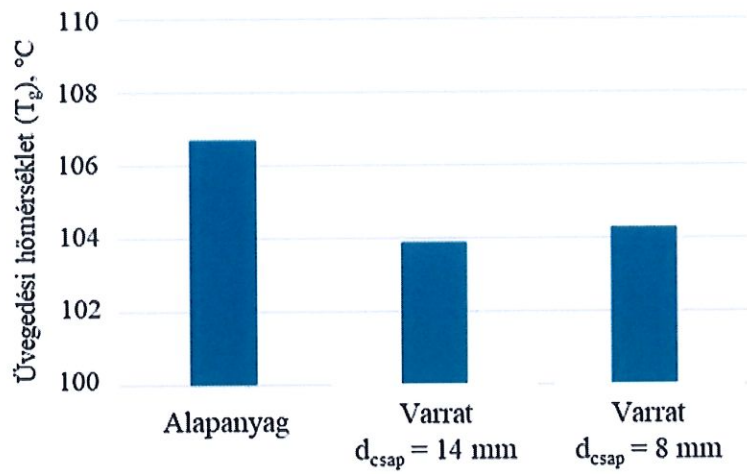
A PP klasszikus részben kristályos polimer, így a vizsgálatok során a kristályos részarányok változását vizsgáltam az első felfűtési szakaszban. A 3. ábrán látható az entalpiaváltozások az alapanyag, valamint a két másik vizsgált minta esetében.



3 ábra Az entalpiaváltozások a PP alapanyag és minták esetében.

A diagramból jól megfigyelhető, hogy mind a két varrat esetében a kristályos részarány csökkent. Továbbá az is jól látszik, hogy a legalacsonyabb szakítószilárdságot eredményező varrat kristályos részaránya a legkisebb. A DSC vizsgálatokból levonható következtetések hasonlóak Kiss és Czigány [11] vizsgálatainak eredményeivel. Ők a tanulmányban a kristályos részarány csökkenését a fémszerszámmal magyarázták, amely jelentős hőt von el a varrattól a hegesztés során, és a varrat gyors lehűlését eredményezi.

Az ABS anyag esetén a DSC vizsgálatok lehetőséget biztosítanak az üvegedési hőmérséklet ( $T_g$ ) meghatározására. A 4. ábrán látható az alapanyag, a legalacsonyabb és legmagasabb szakító szilárdságot eredményező varrat üvegedési hőmérséklete.



4. ábra Az üvegedési hőmérsékletek alakulása az ABS minták esetében

A varratok üvegedési hőmérsékletei minimálisan csökkentek az alapanyagéhoz képest. Ez a csökkenés szintén magyarázható a gyors lehülési folyamattal, valamint azzal, hogy a hegesztés során a polimer láncok szakadnak, ezáltal a varrat molekulatömege csökken. A molekulatömeg csökkenés pedig eredményezheti a kisebb üvegedési hőmérsékletet, valamint alacsonyabb szakítószilárdságokat.

### 3. Emissziós tényező kimérése

Az erőmérés mellett a folyamatot jól jellemző vizsgálat a hegesztési hőmérséklet mérése [21,22,23]. A szakirodalmat áttekintve megfigyeltem, hogy két hőmérséklet mérési eljárást tudunk megkülönböztetni. Egyrészt a kontakt hőmérsékletet, amikor egy hőelem segítségével mérjük a hőmérsékletet, másrészt pedig a hőkamerával regisztrált hőmérsékleti módszert. A kontakt hőmérséklet mérés során a hőelemet nem tudjuk közvetlenül a hegesztési zónában elhelyezni, csak a varrat környékén vagy a hegesztő szerszámban. Mind a két esetben a polimerek rossz hővezetését tekintve, csak közelítő értéket kapunk arról, hogy milyen hőmérséklet lehet a hegesztési zónában. A kapott eredmények a különböző hegesztési beállítások között mért összehasonlításra alkalmasak. A másik mérési módszerrel, a hőkamerával, képesek vagyunk a hegesztési zónában mérni a hőmérsékletet, így a két módszer közül ezzel az eljárással hatékonyabbak és pontosabbak a mérések. Viszont ennél az eljárásnál nagy figyelmet kell fordítani a megfelelő paraméterek (pl.: emissziós tényező) beállítására. Ezért a félév során a hegesztési vizsgálatok során alkalmazott PP lemez emissziós tényezőjét meghatároztam.

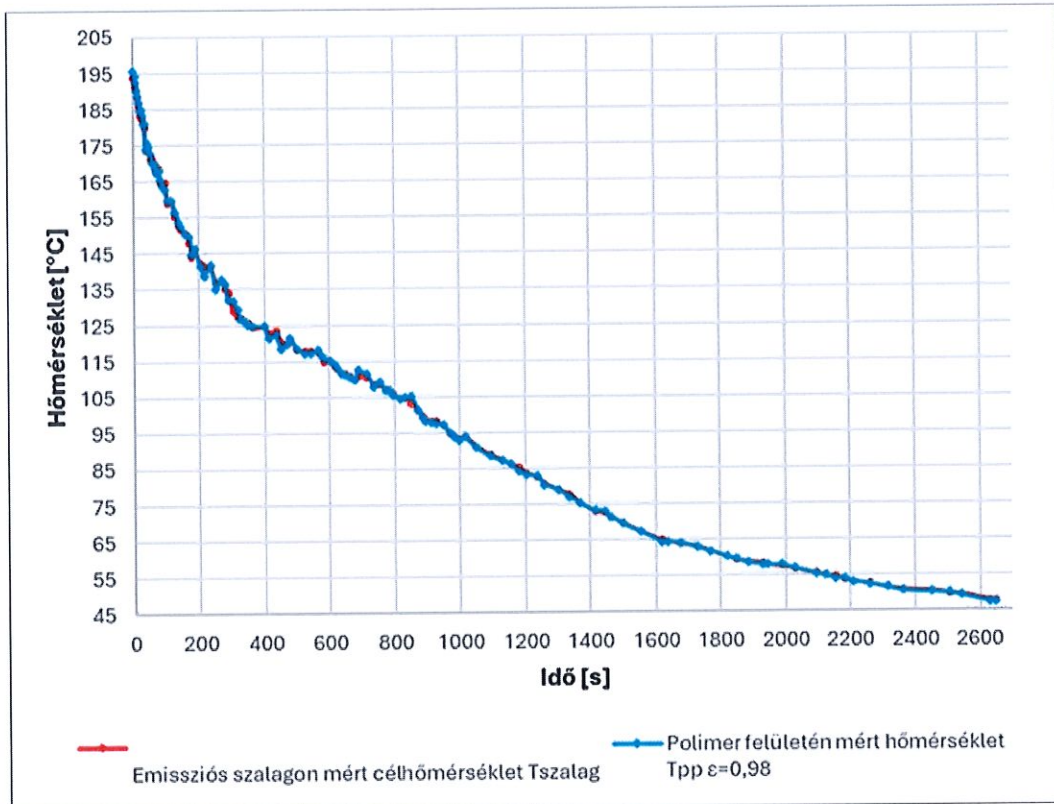
Az American Society for Testing and Materials (ASTM) [24] az emissziós tényező meghatározására két mérési módszer ajánl. A kontakt hőmérő módszernél a mérendő felületet kontakt hőmérővel mérjük folyamatosan, így valós képet kapunk az anyag hőmérsékletéről, amit célhőmérsékletként tudunk kezelni. A kontakt hőmérővel mért felületre irányítjuk a hőkamerát, ahol addig módosítjuk az emissziós tényezőt, amíg a mért felületen nem a célhőmérsékletet kapjuk. A másik emissziós tényező módszer az érintésmentes, amikor a mérendő objektum felületére olyan felületmódosító anyagot viszünk fel, aminek pontosan ismerjük az emissziós tényezőjét. A hőkamerát a módosított felületre irányítva, valamint az ismert emissziós tényezőre állítva valós képet kapunk a mérendő tárgy valós hőmérsékletéről, amit célhőmérsékletnek tudunk tekinteni. A hőkamera emissziós tényezőjét addig állítjuk amíg a szomszédos felületen ugyanazt a célhőmérsékletet mérjük, mint a módosított felületen.

Én az utóbbi mérési módszer alapján határoztam meg a mérendő PP lemez emissziós tényezőjét. A mérések során egy TESTO típusú emissziós szalagot alkalmaztam felületmódosítónak, aminek az emissziós tényezője 0,95 volt. A mérések során Bosch GTC 400 C típusú hőkamerával készítettem felvételeket. A PP lemezből korongot munkáltam ki, amit egy acél tégelybe helyeztem be (5. ábra).



5. ábra: A mérések során használt acél tégely, polimer korong és emissziós szalag

Az acél tégelyt a PP koronggal egy kemencébe tettem, ahol 2 óráig 210°C-on volt hűn tartva. A tégelyt a kamrából kivéve folyamatosan képeket készítettem a hűlési folyamatról. Az emissziós szalagon 0,95-ös emissziós tényezőn mért hőmérsékletet neveztem ki célhőmérsékletnek, majd a GTC Transfer szoftver segítségével addig állítottam az emissziós tényezőt, amíg el nem értem, vagy meg nem közelítettem a szalagmentes területeken a célhőmérsékletet. A vizsgált PP anyag emissziós tényezőjét a mérési adatok alapján 0,98-ra határoztam meg. A 6. ábrán látható, hogy a 0,98-as emissziós tényezővel beállított értékek, szépen illeszkednek a célhőmérséklet görbéhez.



6. ábra: Emissziós tényező mérési sorozat eredménye grafikusán ábrázolva

#### 4. Megjelent publikációk

Stadler, G. R., Szabó, G., & Horváth, R. (2023). Investigation of weld forces and strength of friction stir welded polypropylene. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 67(3), 183-189.

Stadler, R. G., & Horváth, R. (2023) Investigation of Welding Forces and Weld Strength for Friction Stir Welding of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Plates. *Acta Materialia Transylvanica* 6/1. 53–58.

Stadler, R. G., Horváth, R., & Fábrián, E. R. (2022). Kavaró dörzshegesztett PP lemezekon fellépő hibák megjelenése CT felvételeken. *Mérnöki Szimpózium a Bánkiban (ESB 2022)*

Stadler, R. G., Horváth, R., (2023). Eltérő polimer lemezek kavaró dörzshegesztésének erőtani vizsgálata. *Mérnöki Szimpózium a Bánkiban (ESB 2023)* (benyújtva)

Stadler, R. G., & Horváth, R. (2024). Investigation of Friction Stir Welded Polycarbonate Plates. *ACTA MATERIALIA TRANSYLVANICA (EN)*, 7(1), 48–53.

Stadler, R. G., Horváth, R., (2024). Polimerek kavaró dörzshegesztésének rövid áttekintése. XXXII. Nemzetközi Hegesztési Konferencia: Konferencia Kiadvány

Stadler Róbert Gábor, Horváth Richárd: Short Review of Polymer Friction Stir Welding, ICCECIP 2023 (benyújtva, elfogadva)

## 5. Felhasznált irodalom

[1] Silva, L. R. R., Marques, E. A. S., & da Silva, L. F. (2021). Polymer joining techniques state of the art review. *Welding in the World*, 65(10), 2023-2045.

[2] Lambiase, F., Scipioni, S. I., Lee, C. J., Ko, D. C., & Liu, F. (2021). A state-of-the-art review on advanced joining processes for metal-composite and metal-polymer hybrid structures. *Materials*, 14(8), 1890.

[3] Unnikrishnan, T. G., & Kavan, P. (2022). A review study in ultrasonic-welding of similar and dissimilar thermoplastic polymers and its composites. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3294-3300.

[4] Acherjee, B. (2020). Laser transmission welding of polymers—A review on process fundamentals, material attributes, weldability, and welding techniques. *Journal of Manufacturing Processes*, 60, 227-246.

[5] Thomas, W. M., E. D. Nicholas, J. C. Needhan, M. G. Murch, P. Temple-Smith, C. J. Dawes. "International patent application PCT/GB92/02203 and GB patent application 9125978.8.", UK Patent Office, London 6, 1991.

[6] Majeed, T., Wahid, M. A., Alam, M. N., Meh-ta, Y., & Siddiquee, A. N. (2021). Friction stir welding: A sustainable manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6558-6563.

[7] Nelson, T. W., Sorenson, C. D., Johns, C. J. "Friction stir welding of polymeric materials", Brigham Young University, Provo, UT, USA, US 6,811,632 B2, 2004.

[8] Czigány, T., & Kiss, Z. (2011, August). Friction stir welding of fiber reinforced polymer composites. In *Proceedings of the 18th International Conference on Composite Materials* (pp. 21-26). Jeju, South Korea: ICCM.

[9] Rudrapati, R. (2022). Effects of welding process conditions on friction stir welding of polymer composites: A review. *Composites Part C: Open Access*, 8, 100269.

[10] Pereira, M. A., Amaro, A. M., Reis, P. N., & Loureiro, A. (2021). Effect of friction stir welding techniques and parameters on polymers joint efficiency—A critical review. *Polymers*, 13(13), 2056.

[21] Kiss Z., Czigány T. (2010). A kavaró dörzshegesztés átalakítása polimer anyagokhoz. Műanyag és Gumi 47. évfolyam, 4. szám

[22] Inaniwa, S., Kurabe, Y., Miyashita, Y., & Hori, H. (2013, January). Application of friction stir welding for several plastic materials. In Proceedings of the 1st international joint symposium on joining and welding (pp. 137-142). Woodhead Publishing.

[23] Simões, F., & Rodrigues, D. M. (2014). Material flow and thermo-mechanical conditions during Friction Stir Welding of polymers: Literature review, experimental results and empirical analysis. Materials & Design, 59, 344-351.

[24] ASTM, E. (2010). 99a," Standard test methods for measuring and compensating for emissivity using infrared imaging radiometers. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania (USA).

Kelt: Budapest, 2025. év január hó 09. nap

[11] Kiss, Z., & Czigány, T. (2007). Applicability of friction stir welding in polymeric materials. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 51(1), 15-18.

[12] Bagheri, A., Azdast, T., & Doniavi, A. (2013). An experimental study on mechanical properties of friction stir welded ABS sheets. *Materials & Design*, 43, 402-409.

[13] Arici, A., & Sinmazçelýk, T. (2005). Effects of double passes of the tool on friction stir welding of polyethylene. *Journal of materials science*, 40(12), 3313-3316.

[14] Eslami, S., De Figueiredo, M. A. V., Tavares, P. J., & Moreira, P. M. G. P. (2018). Parameter optimisation of friction stir welded dissimilar polymers joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 1759-1770.

[15] Kumar, G. S. V. S., Kumar, A., Rajesh, S., Chekuri, R. B. R., & Sundaramurthy, V. P. (2021). Experimental and thermal investigation with optimization on friction stir welding of nylon 6A using Taguchi and microstructural analysis. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(10), 16878140211050737.

[16] Rezgui, M. A., Ayadi, M., Cherouat, A., Hamrouni, K., Zghal, A., & Bejaoui, S. (2010). Application of Taguchi approach to optimize friction stir welding parameters of polyethylene. In *EPJ web of conferences* (Vol. 6, p. 07003). EDP Sciences.

[17] Mendes, N., Loureiro, A., Martins, C., Neto, P., & Pires, J. N. (2014). Morphology and strength of acrylonitrile butadiene styrene welds performed by robotic friction stir welding. *Materials & Design*, 64, 81-90.

[18] Moreno-Moreno, M., Macea Romero, Y., Rodríguez Zambrano, H., Restrepo-Zapata, N. C., Afonso, C. R. M., & Unfried-Silgado, J. (2018). Mechanical and thermal properties of friction-stir welded joints of high density polyethylene using a non-rotational shoulder tool. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97, 2489-2499.

[19] Eslami, S., Francisco Miranda, J., Mourão, L., Tavares, P. J., & Moreira, P. M. G. P. (2018). Polyethylene friction stir welding parameter optimization and temperature characterization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99, 127-136.

[20] Paoletti, A., Lambiase, F., & Di Ilio, A. (2016). Analysis of forces and temperatures in friction spot stir welding of thermoplastic polymers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83, 1395-1407.