

# NEM HEGESZTHETŐ AA7075 ÉS HEGESZTHETŐ AA6082 ALUMÍNÍUM ÖTVÖZETEK HEGESZTÉSE KAVARÓ DÖRZSHEGESZTÉSSEL

## WELDING OF NON-WELDEABLE AA7075 AND WELDABLE AA6082 ALUMINIUM ALLOY BY FRICTION STIR WELDING

Kovács Zsolt <sup>1\*</sup>, Hareancz Ferenc <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

<sup>2</sup> Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

---

### **Kulcsszavak:**

Friction Stir Welding  
FSW  
vegyeskötés  
alumínium hegesztés

### **Keywords:**

Friction Stir Welding  
FSW  
dissimilar bond  
aluminum welding

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2018. szeptember 7.  
Átdolgozva 2018. október 27.  
Elfogadva 2019. március 4.

---

### **Összefoglalás**

Ezen tudományos kutató munka során a szerzők vegyeskötéseket hoztak létre nem hegeszthető AA7075 és hegeszthető AA6082 alumínium ötvözetek összehegesztésével. A hegesztéshez egy viszonylag új hegesztési technológiát a kavaró dörzshegesztést (friction stir welding - FSW) használták. A hegesztéshez hengeres szerszámot használtak és a munkadarabot márványtáblára rögzítették, elkerülve a káros hőelvonást. Az elkészült varratok keménységét és szövetszerkezetét vizsgálták. A kapott eredmények alapján megállapították, hogy az FSW eljárás alkalmas az AA7075 és AA6082 alumínium ötvözetek összehegesztésére. A kutatás további vizsgálatokat igényel, hogy feltárják az optimális technológiai paramétereket.

### **Abstract**

In this study, an attempt has been made mix-join with the weldable AA6082-T651 and non-weldable AA7075-T651 aluminum. For the welding a novel technology was used namely the friction stir welding (FSW). For the welding were using cylindrical pin tool, marble table to avoid the harmful heat conduction. For evaluations, hardness testing were using to create hardness profiles across the joint in through thickness direction and optical microscope to classify the microstructures. Based on the results obtained it can be stated that the FSW suitable for AA7075 and AA6082 welding by further optimization of the process parameters.

---

\* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 20 532 2092  
E-mail cím: kovacs.zsolt@gamf.uni-neumann.hu

## 1. Bevezetés

Napjainkban a fémipar folyamatos és gyors fejlődései, a hegesztéstechnológiák hasonló ütemű fejlődését igénylik. A megmunkálható anyagok köre folyamatosan bővül újabbnál újabb anyagokkal, ennek érdekében számos téren indokolt fejlesztéseket eszközölni. A felhasznált anyagokat tekintve az iparban egyre nagyobb mennyiségben használnak alumínium ötvözeteket. Azonban az alumínium ötvözetek hegesztése sok esetben problémás, főként ha vegyeskötést szeretnénk létrehozni. A hegesztéstechnológiai fejlesztéseknek köszönhetően 1991-ben Angliában feltalálták a kavará dörzshegesztést. A NASA 1993-tól elkezdte használni ezt a fajta hegesztési eljárást a projektjeihez, mellyel sikeresen egyesítettek egy új alumínium ötvözetet (Al-Li 2195), amivel jelentős fejlődés jelentkezett a súlycsökkentés terén. Másik fő szempontjuk a súlycsökkentés mellett, hogy a kötés nagy szilárdságú legyen valamint repedéssálló, hogy elviselje a rá ható extrém körülményeket [1 - 2].

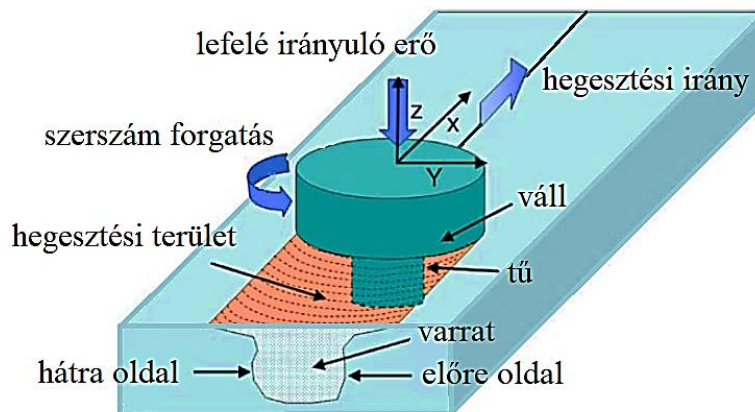
Ez a technológia a feltalálása óta folyamatos fejlődésnek indult, így számos forradalmi újítást tartalmaz. Felhasználási területe mára rengeteg mindent lefed, szinte bármely iparágban megtalálható alkalmazása. Kezdetekben lágy anyagok egyesítésére alkalmazták, főleg alumínium és ötvözetekre, de mára gyakorlatilag bármely anyag egyesíthető ezzel az eljárással. Környezetbarát technológiának nevezhető, mivel az eljárás során, a többi hegesztő eljárással szemben sokkal kisebb a hőbevitel (szilárd fázisú hegesztés), így az anyag nem éri el az olvadáspontját. Ez abból a szempontból is fontos, hogy nem keletkeznek például veszélyes gázok, melyek magas hőmérséklet esetén kiválnak a fémekből, valamint a hőhatás is sokkal kisebb, továbbá az emberi szem számára káros fényhatások sincsenek [1 - 2].

## 2. Kavará dörzshegesztés technológiája

A kavará dörzshegesztés szilárd fázisú hegesztés révén jelentősen több előnnyel bír a fúziós hegesztési eljárásokhoz képest, például a folyadékfázisú anyag hűtéskor fellépő problémák azonnal elkerülhetők. Továbbá olyan problémák, mint a porozitás, újrakristályosodás és repedékenység kevésbé jelent problémát. Általánosságban kijelenthető, hogy a kavará dörzshegesztés hibalehetőségei minimálisak, és a helyes paraméterek megválasztásával gyakorlatilag teljes mértékben elkerülhetők. A hagyományos hegesztő eljárásokhoz képest a kapott varrat is sokkal szebb, esztétikusabb, nem keletkeznek rajta varrati dudorok, ami megkönnyíti a további felhasználásaiban [1 - 2].

Mindazonáltal ez a technológia is rendelkezik számos egyedi hibával, például ha a hőmérséklet értéke elégtelen a megfelelő anyagáramoltatás biztosításának érdekében, vagy a túl nagy haladási sebesség amely nem arányos a hőtermeléssel, mind ezek alagúthibákhoz vezethetnek, melyek vagy a felszínen, vagy a varratban alakulnak ki, és rossz hatással vannak a kötés minőségre nézve, mivel csökken a folytonosság. Ha a tű nem elég hosszú, vagy rossz paramétereket választunk meg, már a behatolás kezdetekkor kialakulhat repedés, ami az egész kötésre kihatással lehet, ami alkatrészek, szerkezetek gyártásakor rendkívül előnytelen, mivel fáradási repedések forrása lehet, így kihat a termék élettartamára [1 - 2].

Az 1. ábrán látható az FSW eljárás elvi ábrája.



1. ábra. A kavará dörzshegesztés elvi ábrája [2]

### 3. Kísérleti részletek

#### 3.1. Vizsgált anyagok tulajdonsága

A vizsgálatokhoz két különböző anyagi összetétellel rendelkező alumínium ötvözetet használtunk, nevezetesen a AA6082-T651 és a AA7075-T651. Az alapanyagok választása során az volt a cél, hogy egy jól hegeszthető alumínium ötvözetet egy nem hegeszthetővel hegesszünk össze.

A hegesztés előtt a darabok anyagösszetételét is meghatároztuk. Az anyagvizsgálatokat egy FOUNDRY MASTER PRO típusú spektrométer segítségével határoztuk meg. Az anyagok összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. Táblázat. Vizsgált alapanyagok összetétele

Számjel	Si	Fe	Cu	Nm	Mg	Cr	Zn	Ti
AA6082-T651	0,4-08	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	0,15
AA7075-T651	0,4	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	0,18-0,28	5,1-6,1	0,2

Az anyagokat nem csak összetétel szerint vizsgáltuk, hanem számunkra az alkalmazott technológia miatt fontosak voltak az alakíthatósági, forgácsolhatósági, hőkezelési és hegeszthetőségi tulajdonságok is. Ezek összegzően a 2. táblázatban találhatóak meg.

2. Táblázat. Technológiai szempontból fontos tulajdonságok

Ötvözet	Alakíthatóság	Forgácsolhatóság	Hőkezelés	Hegeszthetőség
AA6082-T651	jó	közepes	nemesíthető	jó
AA7075-T651	jó	jó	nemesíthető, önnemesedő	nem hegeszthető

#### 3.2. Alkalmazott hegesztő berendezés

A hegesztési kísérletekhez MFP 320 típusú félautomata marógépet használtunk (1. ábra). A hegesztés során előforduló erőviszonyok elbírására követelmény, hogy megfelelő merevséggel bírjon és a reprodukálhatóság miatt gépi előtolással rendelkezzen. További szempont, hogy kellően nagy méretű asztallal és széles tartományban (esetünkben 24) állítható fordulatszámmal rendelkezzen.



2. ábra. FSW hegesztéshez átalakított MFP 20 típusú marógép

#### 3.3. Szerszám geometriai kialakítása

Az eljárás szerszáma erősen befolyásoló tényezője a minőségi varrat készítésének, mivel ez generálja az alakításhoz szükséges hőt, továbbá a másik fontos szerepe hogy elkeverje a meglágyult anyagot. Két fő részből áll a szerszám, a tő valamint a váll részből, ezt szemlélteti az 1.

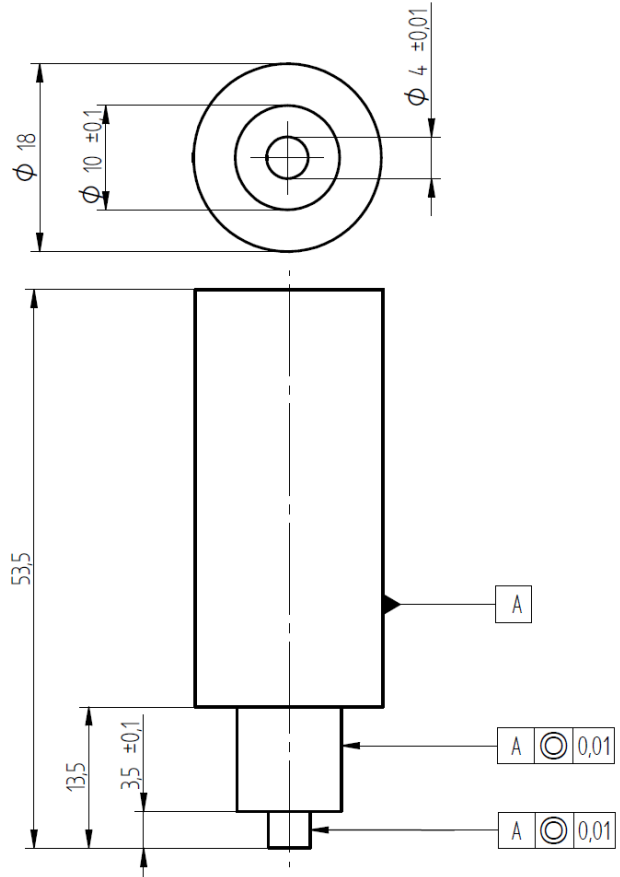
ábra. Általában egy anyagból munkálják meg, ami jellemzően keményfém vagy gyorsacél, de ez erőben függ a megmunkálni kívánt anyagoktól, anyagpárosításoktól. A váll és a túsze kialakítása nagyon fontos szerepet tölt be a varrat készítésénél. A túsze biztosítja azt a hőhatást amitől az anyag meglágyul, így keverhető állapotú lesz, a váll pedig a meglágyult anyag, hegesztési tartományból való kilépésének megakadályozásán kívül, a varrat felszínének minőségéért felel, továbbá a súrlódás végett segít fenntartani az alakításhoz szükséges hőt [1; 2].

Az FSW hegesztés fejlődésének legbefolyásosabb eleme a szerszámgeometria fejlesztése. Kulcsfontossággal bír a geometria a hegesztés folyamatában, ami érinti a kezdeti felmelegítést valamint azt, hogy a szerszámunk az anyagban milyen gyorsasággal képes mozogni. A fordulatszám jelentősebb befolyásoló tényező a hőbevitel számára, mivel minél nagyobb a fordulatszám, vagyis a szerszámunk kerületi sebessége, a súrlódás növekedése mellett nagyobb hő keletkezik [3].

A hegesztéshez használt szerszámokat mi gyártottuk le gyorsacél ujjmaróból köszörüléssel, ami megfelelő a hegesztéshez. Az elkészült szerszám a 3 ábrán látható méreteivel.



a)



b)

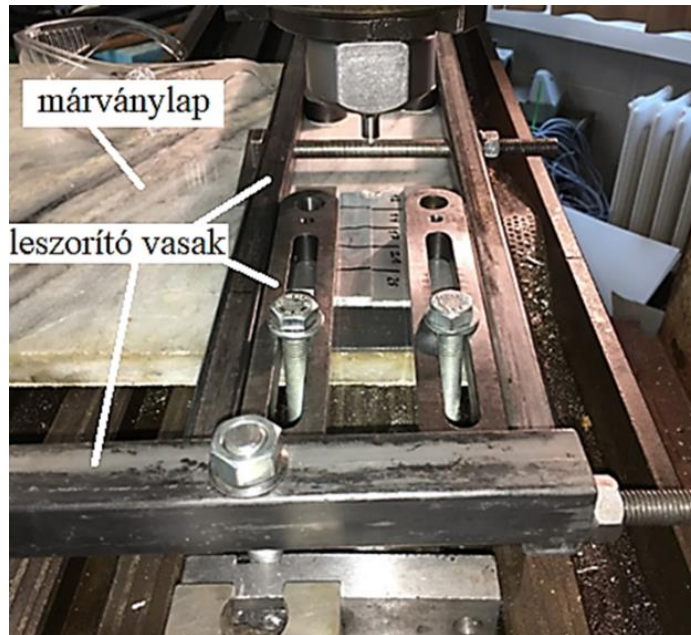
3. ábra. Szerszám kialakítása a) és mérete b)

### 3.4. Munkadarab rögzítése

A hegesztési folyamat megkezdése előtt a munkadarabokat megfelelően rögzíteni kell a berendezés munkaterében. A munkadarab befogása rendkívül fontos a kötés minőségére nézve. hatalmas erők terhelik a munkadarabokat, így azok, nem megfelelő rögzítés esetén, a szerszám forgásának hatására kifordulnak a rögzítés alól. A munkadarab és a gép asztala közé egy márványlapot helyeztünk, amellyel a hőelvonást megakadályoztuk, a gép asztala valamint a munkadarabok között.

A leszorításhoz készítettünk egy befogó készüléket, aminek a segítségével a mintadarabokat pontosan és elmozdulás mentesen tudtuk rögzíteni, úgy hogy a szerszámmal is még kelőképpen (ütközésmentesen) oda fértünk. Az elkészült befogó készülék a 4. ábrán látható.





4. ábra. Befogó készülék

#### 4. Hegesztési kísérletek

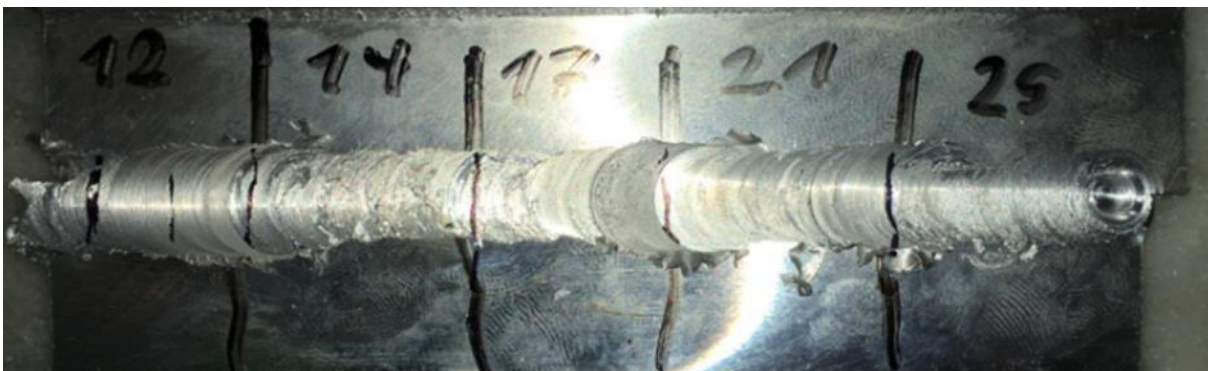
A hegesztés során a AA7075-T651 minta volt a hátra oldalon, míg az előre oldalon a AA6082-T651 alumínium ötvözetet helyeztük el. Fordított állapotban a szerszám kihajlása nagy, ami nem megfelelő kötéshez vezet.

A kísérleteket elő kísérletekkel kezdtük, amely során 500 és 1500 ford./min közötti fordulatszámokkal végeztünk hegesztést. Az előkísérletek alapján az 1000 ford./min-es érték bizonyult a legjobbnak, így a további kísérletekhez ezt az értéket használtuk. A kísérlet során alkalmazott technológiai paramétereket a 3. táblázat tartalmazza.

3. Táblázat. Technológiai paraméterek

Paraméter	Érték
Fordulatszám (ford./min)	1000
Előtolás (mm/min)	12; 14; 17; 21; 25

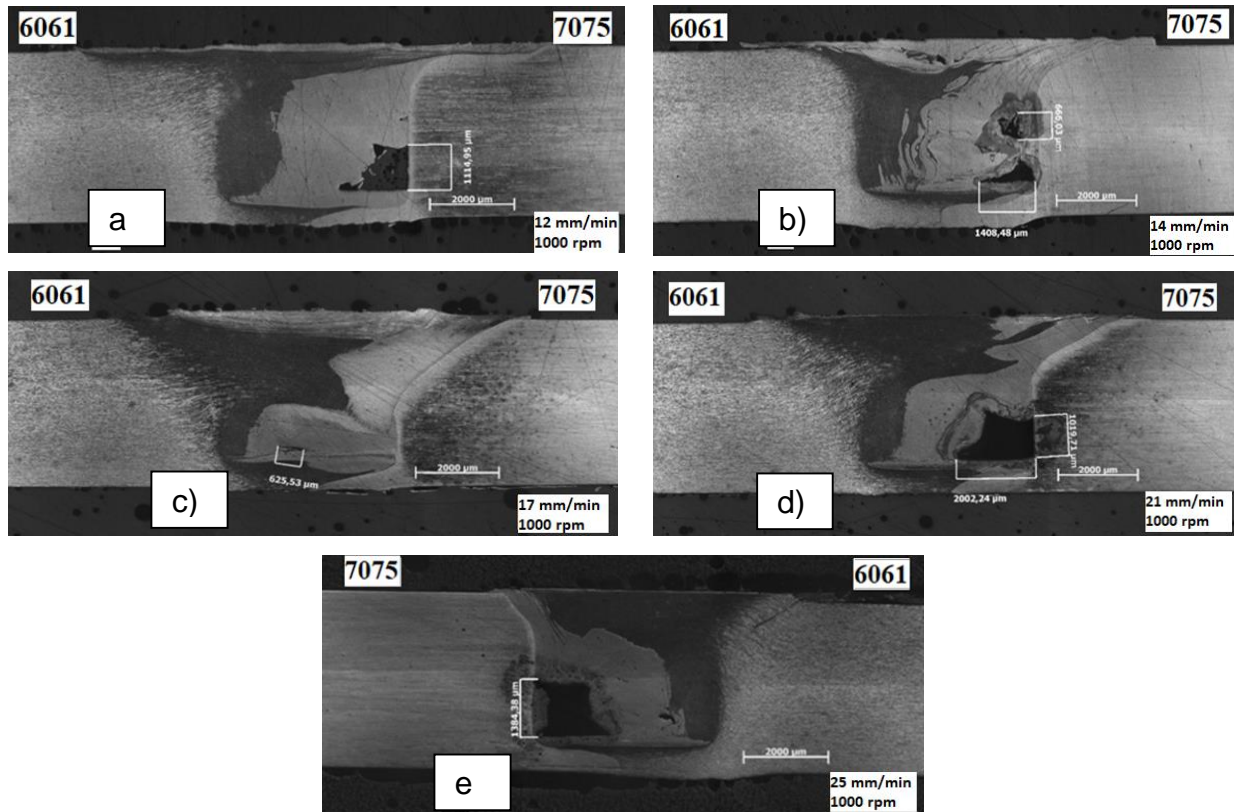
A hegesztés során nem alkalmaztunk semmiféle védőgázt vagy felületkezelés. A mintákat tompán illesztettük, ezek mérete 60x120mm-es és 4mm vastagságú volt. A kész varratot az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra Kész varrat képe, rajta jelölve az előtolási értékekkel

## 5. Eredmények kiértékelése

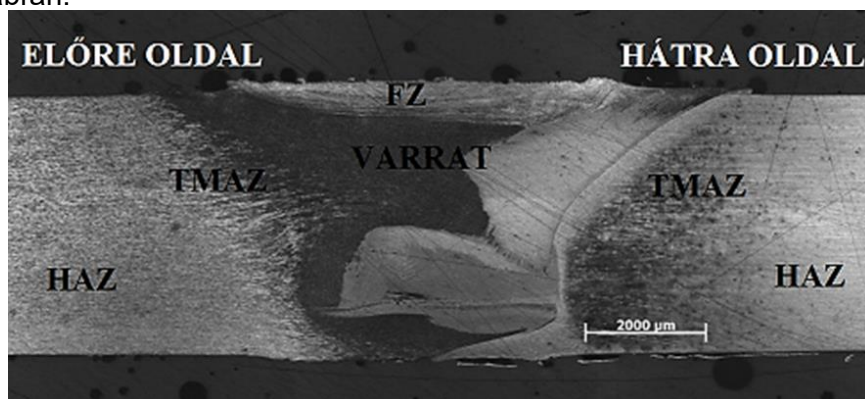
A varratokból csiszolatok készültek, melyeket mikroszkóppal és mikrokeménység méréssel vizsgáltunk. A csiszolatokat Keller-féle maratószerrel (5 ml HNO<sub>3</sub>, 3 ml HCl, 2 ml HF és 190 ml desztillált víz) 10-20 másodpercig maratunk. A csiszolatok mikroszkópi képei 6. ábrán láthatóka.



6. ábra. Csiszolatok mikroszkópi képei

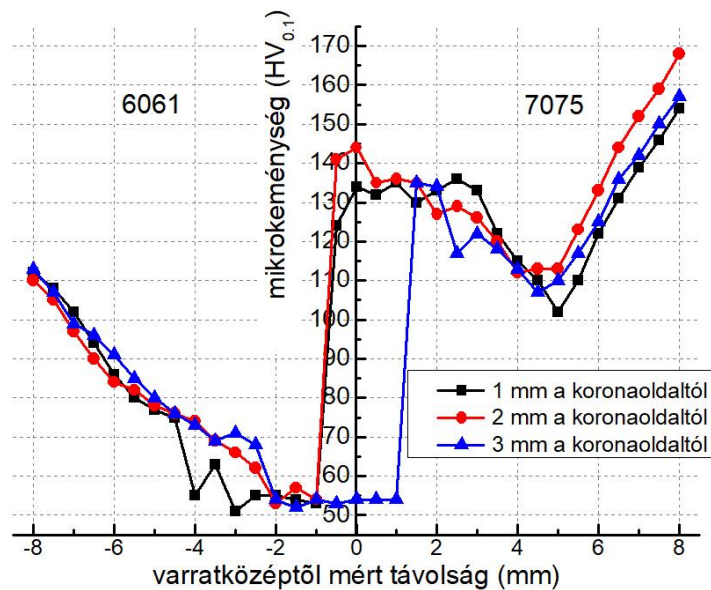
A keletkezett hibák mindegyike az FSW hegesztésre jellemző úgynevezett alagút hiba. A. Tongne, C. Desrvaud, M. Jahazi és En Fleuvarch kutatásuk során vizsgálták ezt a problémát, s azt a megállapítást tették, hogy akkor keletkeznek ilyen, hosszanti üregek, ha a szerszám nem képes megfelelően mozgatni az anyagot [4].

A varratok mikroszkópi képeit nézve megállapítható, hogy a 17mm/perc-es előtolásnál készült jó minőségű varrat, és a keletkezett üreg ennél a legminimálisabb, mintegy 10x625 µm-es. Ennek képe látható a 7. ábrán.



7. ábra. Mikrostruktúrája a 17 mm/min előtolással készült kötésnek

Mivel a 17 mm/min-es előtolással készült kötés bizonyult a legjobbnak, keménységméréssel csak ezt vizsgáltuk. A keménységet micro Vickers keménységmérővel mértük a lemez két szélétől 1-1mm-re valamint a lemez közepén. A keménységmérés lépésköze 0.5mm volt. A kapott eredményeket a 8. ábrán látható diagram tartalmazza.



8. ábra. A 17 mm/min-es kérés keménységmérési eredményei

A 8. ábrán látható keménységmérési eredményekből jól látszódik, hogy a hőhatásövezetben megfigyelhető némi keménységcsökkenés. Továbbá az is szembeűnő, hogy a AA7075-T651-nél ez a csökkenés nagyobb. Mindere a magyarázat, hogy itt található a tű vége, mely alatt jelentős anyagáramlás történik és így jön létre egy finomszemcsés szövetszerkezet is.

## 6. Összefoglalás

A mikroszkópi képek és a keménységmérési eredményei alapján elmondható, hogy az FSW hegesztési eljárás alkalmas AA7075-T651 - AA7075-T651 alumínium vegyeskötés létrehozására.

Továbbá az is látható, hogy úgynevezett alagútképződésre hajlamos a technológia ezen anyagok esetében.

A kísérletek eredményessége alapján érdemesnek tartjuk további optimalizációs kísérletek elvégzését, valamint célul tűztük ki további alumínium ötvözetek és kompozitok FSW eljárással történő hegesztését.

## Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.1-16-2016-00006 „A kutatási potenciál fejlesztése és bővítése a Neumann János Egyetemen” pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg.

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával valósult meg.

## Irodalomjegyzék

- [1] Bharat Raj Singh 2012 A Hand Book on Friction Stir Welding, LAP Lambert Academic Publishing, UK pp. 1 - 70
- [2] R.S. Mishra, Z.Y. Ma 2005 Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering pp. 50 1 – 78
- [4] M. Ilangovan, S. Rajendra Boopathy, V. Balasubramanian 2005 Effect of tool pin profile on microstructure and tensile properties of friction stir welded dissimilar AA 6061-AA 5086 aluminium alloy joints, Defence Technology 11 pp. 174 - 184
- [3] A. Tongne, C. Desrayaud, M. Jahazi, En Fleuvarch 2017 On material flow in Friction Stir Welded Al alloys, Journal of Materials Processing Technology, Volume 239, pp. 284-296