

ALUMÍNIUMHABOK ÍVHEGESZTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Hareancz Ferenc – Kiss Norbert

Absztrakt: Az olyan újszerű anyagok, mint az alumíniumhabok felhasználása számos nehézséget rejthet magában. A fémhabok, mint alapanyagok alkalmazása az iparban számos pozitívummal jár. A különböző gépelemek, szerkezetek esetében nagyon előnyös tulajdonsága a merevség növelése. Gépjárművek esetében az össztömeg csökkentése, ezáltal a károsanyagkibocsátás csökkentése. Azonban használatuk a kellő ismeretek hiányában számos nehézséget rejtenek magukban. Annak érdekében, hogy megismerjük ezen anyagok tulajdonságait vizsgálatokat kell végeznünk rajtuk. Ezen vizsgálatok alkalmával szeretnénk az alumíniumhabok ívhegesztésének sajátosságaira rávilágítani és hegesztés közbeni viselkedésüket tanulmányozni.

Abstract: Application of novel materials such as aluminium foams can have many difficulties. The application of metal foams as base materials have many positive effects. Increased rigidity is a very beneficial attribute in the case of various machine parts and structures. Reduced pollutant emission due weight reduction is another beneficial attribute for vehicles. However their application involves many difficulties In the absence of sufficient knowledge. In the absence of sufficient knowledge. Investigations of these materials must be made in order to get to know the properties of these substances. We would like to highlight the characteristics of arc welding on aluminium foams and to study their behaviour during welding in this article.

Kulcsszavak: alumíniumhab, ívhegesztés

Keywords: aluminium foam, arcwelding

1. Bevezetés

A fémhabok új, könnyű anyagok, amelyeket egyre több kutató vizsgál napjainkban. Az olyan fémek, amelyekből celluláris anyagokat, állítanak elő mint a titán, réz, acél és alumínium felhasználási köre egyre inkább bővül. Kivételes tulajdonságokkal rendelkeznek, például a jó hő- és hangszigetelők, kiváló energiaelnyelők, jók a mechanikai tulajdonságaik és az alacsony súlyuk miatt az ipar nagyon érdeklődik ezen anyagok iránt. Bár az alumíniumhab évtizedek óta ismert, a kutatás célja továbbra is az anyag optimalizálása és új alkalmazási területek megnyitása.

Innovatív anyagként az alumíniumhab komoly potenciált jelent a kompozit összetevőként való használatra. Ez a kompozit alumíniumhab szendvics (AFS), amely alumínium lemezekből áll, mint fedőrétegek és alumínium hab, mint magréteg.

A habosított állapotban az alumínium, kis sűrűség mellett, nagy merevséggel és más fontos tulajdonságokkal is rendelkezik. Például nagyon jó ütközési energiaelnyelő, valamint szendvics szerkezetekben a habosított magréteg hő- és hangszigetelő. Az alumínium hab és a szendvicsszerkezet is teljesen újrahasznosítható és környezetbarát, mivel az egész alumíniumból készül. Ezek a tulajdonságok nagyon jól használhatók a gépjárműiparban a gépjárművek karosszériájához. Továbbá az építőipar, a repülőgépipar, a tengeri és a vasúti utazási ipar nagy érdeklődéssel bír [1, 2].

Az elmúlt években az iparág olyan irányba kezdett haladni, amivel nagy hangsúly fektetnek a járművek tömegcsökkentésére és ezzel a károsanyag kibocsátás

minimalizálására. A károsanyag kibocsátás csökkentésére globális szinten folynak a törekvések. Ezt a tömegcsökkentést főleg az új típusú anyagokkal érték el, mint például AHSS acélok, nagy szilárdságú alumínium ötvözetek vagy celluláris anyagok ezek közül is a fémhabok.

A felhasználás növekedésével egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik a lehetséges kötéstechológiák felé, így a hegesztett kötések kialakítása felé is. Jelen irodalomkutatás az alumínium és alumíniumhabok főbb tulajdonságai, alkalmazási területei bemutatása mellett, ezen anyag hegesztési sajátosságainak bemutatását tűzi ki céljával.

2. Könnyűszerkezetek jelentősége az iparban

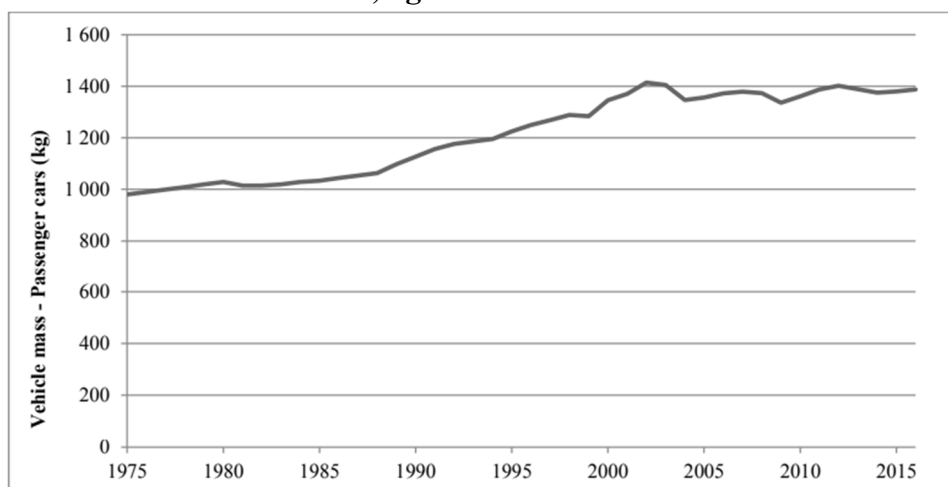
A gépiparban és a gépszerkezetek gyártásában a fémlemez alkatrészek tulajdonságaira vonatkozó szilárdsági követelmények folyamatosan növekednek. E követelmények teljesítése érdekében innovatív anyagokat és új építési módszereket próbálunk használni. Az anyagfejlesztések egyik célja az, hogy olyan rész tulajdonságokat biztosítsunk, mint például merevség, szilárdság vagy ütközésbiztonság.

A másik cél az, hogy a szerkezeteinkben az anyagfelhasználást innovatív megoldásokkal csökkentse. A tömegcsökkentés a korunk egyik központi követelménye számos területen, mint például a járműipar vagy a repülőgépipar. Meg kell jegyezni, hogy a potenciális felhasználóknak nagyon különböző elképzeléseik vannak arról, hogy mennyire magasak lehetnek a súlycsökkentés költségei. Erre vonatkozóan végeztek tanulmányokat már korábban. J. Krautz [3] kutatása alapján az autó vásárlók 2 euró és 10 euró közötti költségnövekedést fogadnak el, hogy egy kilogrammal csökkentsék a gépjármű tömegét. Ugyanakkor a repülőgépiparban a érdekelt emberek akár 500 eurót vagy akár öt számjegyű összeget is képesek fizetni, egy kilogramm tömegcsökkenés érdekében [4].

A magas biztonsági követelményeknek, a modern járművek kényelmének és méretének, valamint a jármű súlyának növekedésének köszönhetően különösen fontos a könnyűszerkezet igénye, különösen az autóiiparban. Ha az utóbbi évtizedekben megfigyeljük a jármű tömegének alakulását, például a középosztályban, akkor emelkedő tendencia figyelhető meg (lásd: *1. ábrán*). Hasonló tendencia érvényes más osztályú autókra és más közlekedési módokra is.

Az elmúlt évtizedek publikációi azt mutatják, hogy világszerte sok autóiipari vállalat nagyon intenzíven foglalkozik a könnyűszerkezet témájával SuperLightCar (SLC), Light e-Body, UltraLight Steel Auto Closures (ULSAC), body-in-white (BIW) [5, 6, 7, 8]. Ez a trend könnyen magyarázható. Különösen az autóiiparban erős az igény az üzemanyag-fogyasztás csökkentésére, mivel az emelkedő üzemanyagárak is arra kényszerítik a vásárlókat, hogy alacsony fogyasztású járműveket válasszanak.

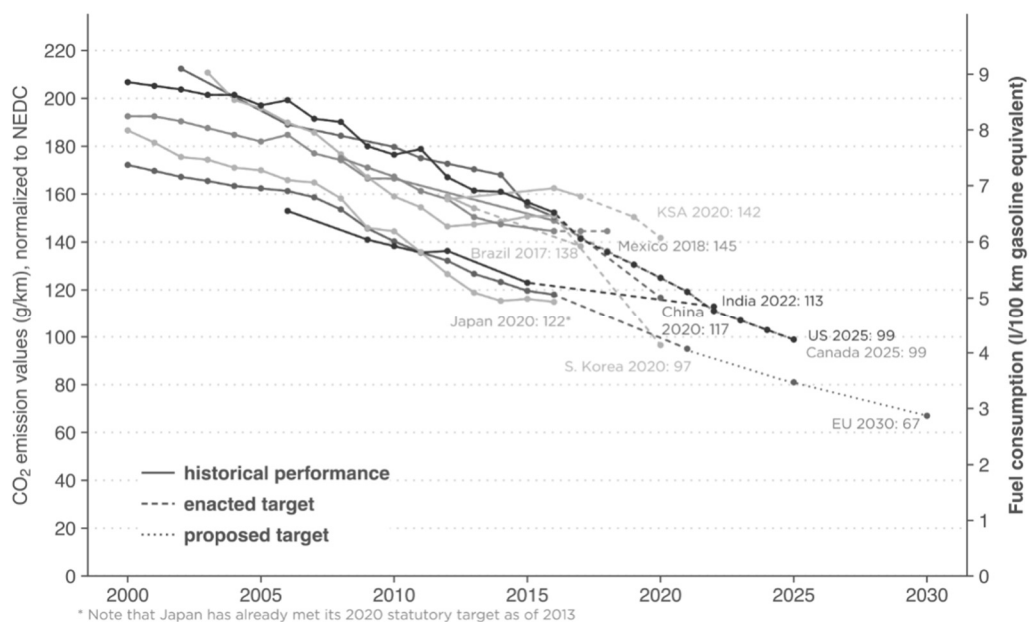
1. ábra: Európában forgalomba helyezett személyautók átlagos tömegének alakulása, kg-ban 1975-2015 között.



Forrás: ITF: Lightening Up: How Less Heavy Vehicles Can Help Cut CO₂ Emissions, 2017

Az új globális szabványok a járművek biztonságát (ütközéskor), az üzemanyag megtakarítást és a károsanyag kibocsátást világosan meghatározzák 2020-ig és ezek további nagymértékű szigorítást irányoznak elő a következő 10 évre vonatkozóan. Érdekes azonban, hogy a regionális szabályozások különböző mértékben határozzák meg ezeket a célokat (lásd: 2. ábrán)

2. ábra: Személygépkocsi CO₂-kibocsátás és üzemanyag-fogyasztás 2030-ig



* Note that Japan has already met its 2020 statutory target as of 2013

Forrás: Chart library: Passenger vehicle fuel economy <www.theicct.org> 2018

Az alumínium kezdeti felhasználása a járműiparban csak a luxus kategóriájú autókra terjedt ki. Az első sorozatgyártású autó, mely teljes alumínium vázzal rendelkezett 1994-ben debütált, Audi A8 volt (lásd: 3. ábra). Ezt a trendet követni kezdte a többi nagy autógyártó vállalat is [9].

3. ábra: Audi A8 karosszériája



Forrás: Juergen R. Hirsch: Recent development in aluminium for automotive applications

Ennek köszönhetően 2014-re az alumínium felhasználás a tömegpiacra szánt modellekben is egyre nagyobb részarányt tett ki. Sikerült elérni néhány autó esetében a 39 %-os tömegcsökkenést is. Az alumínium könnyű súlya mellett remek energiaelnyelőként is funkcionál. Emiatt rendszeresen készítenek belőle életvédelmi elemeket, lökhárítókat, ütközőelemeket és gyakran fordul elő a karosszéria ütközészónájában is. A forradalmi elektromos autót gyártó Tesla modelljei akkumulátor csomagjait alulról 8 mm vastag golyóálló alumíniumöntvözet lemez védi, mely garantálja a biztonságát és védelmét az akkumulátoroknak [10].

3. Alumínium habok tulajdonságai

A fémek habosításával nagy fajlagos szilárdságú, könnyű, jó energiaelnyelő anyagokhoz juthatunk, amelyek magas hőmérsékleten is stabilak maradnak, ráadásul száz százalékban újrahasznosíthatók, így környezetbarátok is. További jó tulajdonságaik a jó rezgéscsillapító képesség, hangelnyelés és elektromágneses árnyékoló képesség. A fémhabok nagy energiaelnyelő képességét a porozitásuk biztosítja. A cellákat határoló gömbhéjak nem egy időben omlanak össze és, így a fémhabok nagymértékű alakváltozásra képesek azonos feszültség szinten. A fémhabok főbb tulajdonságait az alábbi (1. táblázat) táblázat mutatja [1].

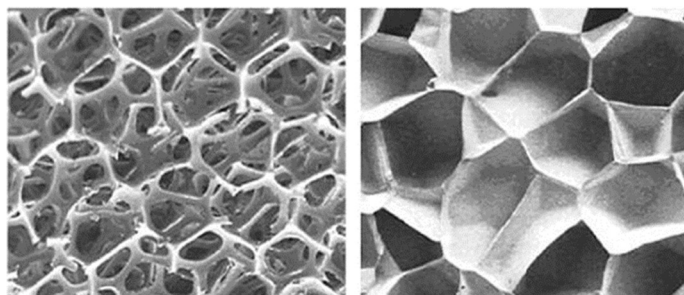
A sejtes felépítésű anyagokat tömör rudak és/vagy lemezek hálózataként lehet elképzelni. A tömör rudakat cella élnek, a lemezeket cellafalaknak hívjuk. A háromdimenziós celluláris anyagokat haboknak nevezzük, ha a bennük található szilárd anyag térfogati hányada más néven relatív sűrűsége nem haladja meg az 50%-ot.

1. táblázat: Fémhabok fizikai tulajdonságai

Fémhabok legfőbb fizikai tulajdonságai	
Cellaméret	20 nm - kb. 20 cm
Relatív sűrűség	0,003 - 0,5
Rugalmassági modulus	0,02 - 15 GPa
Rugalmasság határa	0,02 - 50 MPa
Hővezetési tényező	0,3 - 35 W/m·K
Fajlagos ellenállás	$9 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-5} \Omega\text{m}$

Forrás: K.Cs.: Napjaink korszerű anyagai: A fémhabok

Ezt a relatív sűrűséget meghaladó háromdimenziós anyagokat porózus anyagoknak nevezzük. A fémhabokat két fő szerkezeti felépítésük szerint osztályozhatjuk: lehetnek nyitott cellásak vagy zárt cellásak is, melyet az alábbi kép (4. ábra) szemléltet [1].

4. ábra: Nyitott (balra) és zárt (jobbra) cellás szerkezet

Forrás: Goga Vladimír: Testing and Application of New Phenomenological Material Model for Foam Materials

3.1. Fémhabok felhasználása

A fémhaboknak a fentebb említett előnyös tulajdonságaik révén több alkalmazási területük is alkalmazhatóak és ezek folyamatosan bővülnek. Az egyik legnagyobb előnyük révén, ami a nagy energialeNyelő képesség, beépíthetők gépjárművekbe. Például ütközésvédelmi elemekbe, mint ütközők, bukókeretek és lökéscsillapítók vagy éppen lökhárítók. Felhasználhatók még ajtók és küszöbök belsejében merevítésként. Ezzel növelhető az utasok védelme és elérhető a tüzelőanyag fogyasztás csökkenése is. Jelenleg alumínium habokat használnak például az Audi A8-ban, a Ferrari F430 sportautóban és a Siemens Combino villamosaiban [5,6].

A jó hangszigetelő tulajdonsága miatt alkalmazzák Japánban felüljárók, viaduktok alját borítják be, ilyen anyagból készült „lemezekkel”. Hőszigetelő tulajdonsága miatt épületek mennyezetét és külső falaira is szerelnek, fémhabból

készült táblákat ezzel javítva az épület szigetelését és egyben esztétikai szempontokat is szem előtt tartanak [11].

Tovább növelik a felhasználási területeket a szintaktikus habok javított tulajdonságai. Ezeknek a haboknak a mátrixa fém, erősítőanyaga pedig fém vagy kerámia, a hő és kémiai stabilitásuk jó. A felhasznált könnyűfémek (alumínium ötvözetek) olvadáspontja, a polimer habok degradációs hőmérsékletét lényegesen meghaladja, korrózióval való ellenállásuk ugyancsak megfelelő. Ezzel a felhasználásuk köre kiterjedhet a nagy hőmérsékletű, nedves, erősen korrozív környezetekre is [12].

4. Habok hegesztésének lehetőségei

Az alumíniumhabok hegesztése mind ömlesztő, mind sajtoló hegesztési eljárásokkal lehetséges. Az eljárások alkalmazhatósága annak a kritériumnak a függvénye, miszerint szükséges-e biztosítani a varratban a nyitott cellás szerkezetet vagy sem. Az alumínium szendvics panelek hegesztése a határoló panelek miatt könnyen megoldható, azonban a belső hab szerkezet és a külső lemez a hőközlés okozta hatások miatt szétválhat.

4.1. Ívhegesztési eljárások

Az ívhegesztéssel készített kötések esetén a beolvadás nem teljes. A varratban részlegesen vagy egyáltalán nem biztosítható a nyitott cella szerkezet. Ez a nem teljes keresztmetszetű beolvadás azonban elegendő a terhelések átvitelére. Ilyen varratok készíthetők TIG, MIG és plazmahegesztéssel.

A lézersugaras hegesztéssel kialakított kötések esetében lehetséges a nyílt és zárt szerkezet is. A tömör varratok kialakítása csökkenti az alumíniumhab egyik nagy előnyét, ami a könnyedségéből adódik, így ilyen varratokat csak nagy méretű szerkezetek esetében érdemes használni. Az előnyösebb nyitott cellás varrat kialakítása esetében szükségünk van habosító szerek adagolására a varratfürdőbe, amik biztosítják a porózus szerkezetet [13].

4.2. Sajtoló hegesztési eljárások

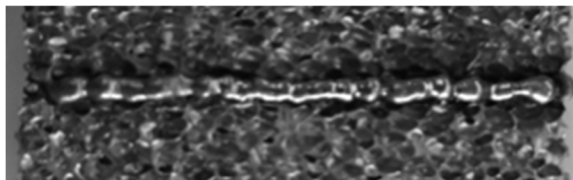
Az ilyen eljárások során biztosítani kell a hab megfelelően biztos rögzítését amellet, hogy annak szerkezete nem ronccsolódik. A hagyományos forgó mozgású dörzshegesztés alkalmazása problémás, a munkadarab a megfogóban megroppan, eltörik vagy akár kihajlik. Megfelelő megfogással a rezgőmozgású dörzshegesztés alkalmazható, illetve forgógyűrűs dörzshegesztés is alkalmas lehet. A lineáris dörzshegesztés is alkalmazható, nem csak homogén hanem heterogén kötések létesítésére is [13].

Kisebb keresztmetszetek esetében a zömítő tompahegesztés alkalmazható. Nagyobb keresztmetszet esetében pedig a leolvasztó tompahegesztést érdemes használni [13].

5. Kísérletek

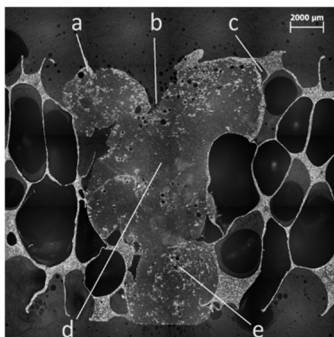
A kísérleteket a fogyóelektródás semleges védőgázos ívhegesztéssel végeztük, a hegesztőpisztolyt pedig egy lángvágó traktorra szerelt 5 tengelyen állítható megfogó szerkezetre erősítettük. A pisztolyt teljesen merőlegesen állítottuk be a hegesztendő darabok felületéhez képest. A próbatesteket egy 8 mm vastag réztáblára helyeztük, hogy a hegesztőáramkör megfelelően tudjon záródni, a porózus felület ellenére is. A testkábelte erre a lemezre csíptettük. A hegesztőáramforrás egy Migatronic Sigma 300, mivel szinergikus vezérlésű, a programjai közül a hegesztőanyaghoz tartozót kiválasztva, beállítja a technológiai paramétereket automatikusan. Az általunk használt hegesztőhuzal AlSi5 vegyjelű volt 1 mm-es átmérővel. A hegfürdőt védő gáz 4.6-os tisztaságú argon gáz volt, melynek átfolyása 10 liter/perc értékre lett beállítva. A kötések azonosan 35 A áramerősséggel és minimálisra csökkentett ívfeszültséggel készítettük el, a hegesztési sebességet változtatva. Az legjobb kötés 15 cm/min hegesztési sebességgel készült, amely a képen látható (5.ábra).

5. ábra: 5mm cellaméretű alumínium hab hegesztett kötése



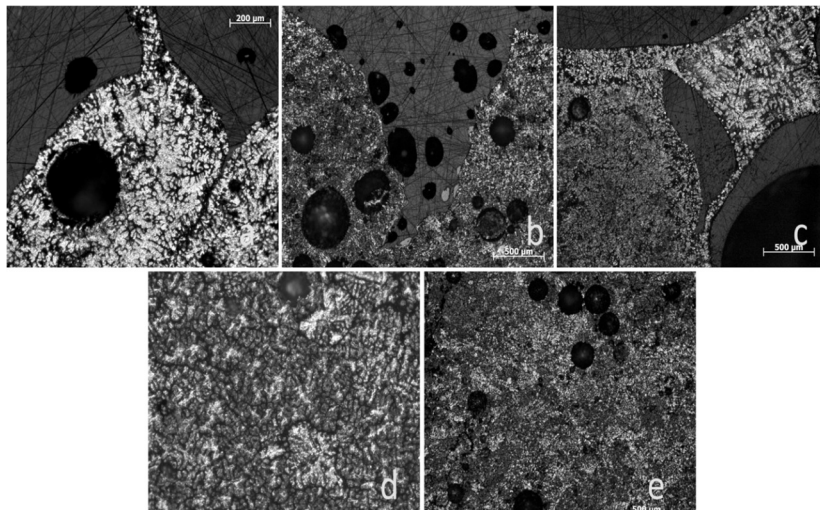
A kötést 4 rétegsorban készítettük el, mivel a hegesztés során a cellaszerkezet összeomlik. A kialakult kötések korona oldala szabálytalan alakú, a hab egyenetlen felületéből adódóan. A cellákba befolyó ömledék miatt a varrat vonalvezetése szabálytalannak tűnik, a varrat környezetében kormosodás figyelhető meg. A kötés (6.ábra) betűkkel jelzett pontjairól készítettünk közelebbi képeket is a kémiai maratás után. A marószer összetétele: 18ml H₂O, 16ml HNO₃, 16ml HF, 50ml HCl. A maratás ideje első tapasztalatok alapján körülbelül 2-3 mp volt.

6. ábra: A kötés keresztmetszeti képe



Így a kötés szövetszerkezetét is meg tudtuk vizsgálni. A következő képeken láthatók a varratok hibái, eltérései és szövetszerkezete (7.ábra).

7. ábra: A kötés szövetszerkezetének részletképei



Az (7. ábra) a jelű ábráján 100x-os nagyításban egy körülbelül 300 μm átmérőjű buborékot láthatunk, a varrat korona felszínéhez közel. Mellette pedig egy a varratba befelé irányuló összeolvadás hiányt. A nagymértékű porozitás az egész varratra jellemző.

A hegesztett kötés finom eloszlású dendrites szövetszerkezete látható. A (7. ábra) b, c, d, e jelű ábrákon szövetszerkezetben precipitátumok és lunkerek is felfedezhetők. A szövetszerkezetben valószínűleg az alapanyag és a hozaganyag keveredéséből adódnak az árnyalati eltérések.

A próbatestek egytengelyű szakítóvizsgálatát elvégezve a legtöbb próbatest a hegesztés hőhatás övezetében ment tönkre, ami várható volt az alapanyag kilágyulása miatt.

6. Összefoglalás

Ezeknek az anyagoknak a hegesztése nem könnyű feladat, azonban nem is lehetetlen vállalkozás. Az inhomogén szerkezetük miatt csak kis áramerősségek alkalmazhatóak, emiatt és az anyag habosodását biztosító adalékanyag szennyező hatása miatt az ívünk instabil és ebből fakadóan az oxidbontás nem kielégítő. Az oxidbontás javítására érdemes lenne folyasztószerek alkalmazásának kipróbálása, ezzel hátha javulna a helyzet e téren.

Az 5 mm-es cellaméretű alumíniumhabok esetében a teljes keresztmetszetű átolvadás megvalósítható az alkalmazott technológiai paraméterekkel. A hegesztése viszont nem mondható gazdaságosnak a négyrétegű varratsor miatt. A szakítóvizsgálatok során az alapanyag rideg anyagként viselkedett nyúlása csekélynek mondható volt.

A makro és mikroszkópi vizsgálatok eredményei alapján elmondható, hogy a varratok porozitása magas, melyet a hidrogén és a habosító adalékanyag együttes jelenléte vált ki főként. A kötések szövetszerkezete túlnyomórészt finom eloszlású dendrites, mely szennyeződésektől nem mentes. A megömlött hegfürdő igyekszik a

környező cellák betöltésére, emiatt a varratok geometriája nem szabályos, általában az össze nem omlott cellafalak határolják.

A kísérletek alatt szerzett, tapasztalatok iránymutatást adnak a további vizsgálatoknak. További próbatestek és beállítások vizsgálata szükséges, ahhoz hogy tökéletesebb kötést tudjunk létrehozni ezzel az eljárással. Azonban érdemes lehet további eljárások kipróbálása is különösen a nagy hő koncentrátsággal bíró technológiák lehetnek ígéretesek a későbbiekben.

Köszönetnyilvánítás

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. EFOP-3.6.1-16-2016-00014

Szeretnénk köszönetet mondani az Aluinvent Zrt.-nek az alumíniumhab alapanyagok biztosításáért és a habokkal kapcsolatos tapasztalataik megosztásáért.

Irodalomjegyzék

1. Kádár Csilla, Kenesei Péter: NAPJAINK KORSZERŰ ANYAGAI: A FÉM HABOK <<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0807/kadar0807.html>>. (2018.11.24.)
2. Crupi, V.; Montanini, R.: Aluminium foam sandwich collapse modes under static and dynamic three-point bending, *International Journal of Impact Engineering* 34, 2007, 509-521.
3. J. Krautz: Leichtbau mit Titan, *Maschinenmarkt*, <<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/leichtbau-mit-titan-a-139389>>. (2019.02.21)
4. G. Scharf: Späte Entdeckung – Aluminium, Magnesium und Titan haben als Leichtmetalle die Werkstoffpalette bereichert; *Der Maschinenmarkt*, Würzburg, 1994, 81-86
5. Jürgen Hirsch: Aluminium - Werkstoff für den Automobilbau, *Hydro Aluminium R&D Bonn*, 2015
6. WorldAutosteel, Ultra Light Steel Auto Body-Advanced Vehicle Technology; 2002
7. Advanced High Strength Steel (AHSS) application guidelines V6.0. *International Iron and Steel Institute Committee on Automotive Application*, 2005.
8. Xintao, Shuxin, S. Jack: A method for optimal design of automotive body as-sembly using multi-material construction, *Materials and Design* 29, 2008, 381–387
9. Juergen R. Hirsch: Recent development in aluminium for automotive applications [Online]. Elérhető: <https://www.researchgate.net/publication/265129257_Recent_development_in_aluminium_for_automotive_applications>. (2018.09.24)
10. ALUMINIUM IN TRANSPORT, <<https://www.aluminiumleader.com>> 2018
11. Goga Vladimír: Testing and Application of New Phenomenological Material Model for Foam Materials <<http://www.posterus.sk/?p=3923>> (2018.10.21)
12. Dr. Szunyogh László, főszerkesztő: *Hegesztés és rokon technológiák kézikönyv*, 2007
13. Prof Dr. Bolshakov Michail, Dr. Németh Árpád, Nyári Péter, Dr. Palotás Béla: *Fém szivacsok hegesztése*, *Hegesztés technika*, XVI. évfolyam 2005/1