

ALUMÍNIUM-POLIMER KÖTÉS KIALAKÍTÁSA

MANUFACTURING OF ALUMINIUM-POLYMER JOINTS

Temesi Tamás^{}, Bella Szabolcs^{**}, Dr. Czigány Tibor^{***}*

ABSTRACT

Advances in manufacturing technology and integrated components pose a growing need for joining methods, with which materials that differ in chemical structure (for example aluminium and polymer) can be joined together. In mass production, only fast and reliable joining techniques, like ultrasonic and laser welding are acceptable. In this article, we briefly summarize laser welding and its applicability in joining aluminium and polymer structures together, and then describe the results of preliminary experiments and the design of a clamping device, with which overlapped joints between the aforementioned materials can be formed.

1. BEVEZETÉS

Az ipari kutatás-fejlesztés egyik fontos célja a költségcsökkentés, amelyre az egyik legegyszerűbb módszer az automatizálás, valamint a kis sűrűségű anyagok, például alumínium vagy polimerek és polimer kompozitok használata. Ezek alkalmazásával, a kisebb tömeg miatt a járműiparban jelentős üzemanyag-megtakarítás érhető el a jármű életciklusa során, ezáltal a kibocsátott környezetkárosító anyagok mennyisége is csökkenthető [1]. A polimer anyagú alkatrészek fém szerkezethez (pl. vázelemekhez) történő hozzákapsolásának, hozzákötésének módjai és technológiái az elmúlt években kerültek a kutatások fókuszpontjába [2, 3].

A nemzetközi szakirodalom egyre nagyobb figyelmet fordít fém és polimer anyagok összekapcsolására közvetítő anyag, azaz ragasztóanyag felhasználása nélkül. Ezen belül kiemelt kutatási területnek számít a kis ciklusidejű, jól automatizálható műanyaghegesztő eljárások (pl.

dörzs-, lézersugaras, vagy ultrahanghegesztés) alkalmazhatóságának vizsgálata. Mindegyik ilyen kötési eljárásban a polimer anyagot melegítik fel (ömlesztik meg) úgy, hogy az képes legyen hozzátapadni a fém felületéhez, ezzel megbízható, szilárd kötést létrehozva [3-6].

Jelen publikációban röviden bemutatjuk a lézersugaras hegesztést, valamint alkalmazhatóságát fém-polimer alkatrészek közötti kötések létrehozására, majd bemutatjuk egy olyan lefógókészülék tervezését, amelynek segítségével alumínium és polimer anyagpárok között kötések tudunk létrehozni lézersugaras hegesztéssel.

2. LÉZERSUGARAS HEGESZTÉS

Nagy szilárdságú, polimer-polimer közötti kötés hegesztési technológiával történő létrehozásához az alábbi három tényező egyidejű fennállása szükséges: megfelelően nagy hőmérséklet a polimer ömledék állapotba hozásához; megfelelően nagy mértékű nyomás, amivel az alkatrészek megömlesztett anyagrészei összenyomhatók; valamint kompatibilitás a hegesztett alkatrészek anyagai között. Ehhez számos hegesztési technológia áll rendelkezésre polimer anyagok összekötéséhez (forrógázos, hőtükros, dörzs-, ultrahangos és lézersugaras hegesztések) [7-9].

A lézersugaras hegesztés a sugárzásos elven működő kötéstechnológiák csoportjába tartozik. Polimerek lézersugaras hegesztése során a lézersugár a kovalens kötésekkel alkotó vegyértékelektronokat gerjeszti, ennek hatására az atomok rezgési és forgási energiája megnövekszik, a molekulák atomjai a kötéstávolságokból adódó egyensúlyi helyzetük körül rezgőmozgást végeznek (ez az ún. mikro-Brown mozgás), illetve elfordulnak a kötések tengelyei körül, ami hőfejlődéshez vezet a hegesztett anyagban belül [8]. A

^{*} PhD hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék

^{**} AedusSpace Kft., Budapest

^{***} Egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék, MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

lézersugárzás hatására a polimer anyag fizikai tulajdonságai megváltozhatnak, ennek során a lézersugárzás az anyag felületéről visszaverődhet, az anyagon átjuthat, az anyagon belül szóródást szenvedhet, vagy akár el is nyelődhet. A polimer anyag az elnyelt sugárzásintenzitás mértékétől függően felmelegedik, akár ömledék állapotba is kerülhet, amelynek hatására optikai tulajdonságai is megváltoznak. Ezen jelenségek a polimer anyag és a lézersugárzás hullámhosszától függően minden egyes polimer anyagnál eltérő mértékben jelentkeznek, mivel adott hullámhosszú sugárzás csak bizonyos atomi kötés-típusok gerjesztésére képes [7-8].

A lézersugaras hegesztést elterjedten alkalmazzák ipari körülmények között polimer termékek hegesztésére, mivel számos előnye van: igen pontos, precízen vezérelhető, jól automatizálható és érintésmentes technológia; az elkészült varratok tömörek, hermetikus zárás és több réteg anyag összehegesztése is megvalósítható; a hegesztés során a hőfejlődés lokalizált, a varrat közvetlen környezetén kívül az anyagot nem éri hőterhelés, emiatt degradáció sincs; az elkészített varratok általában feszültség- és sorjamentesek. A technológia hátránya, hogy a lézersugaras hegesztőberendezés drága; a hegesztés csak akkor valósítható meg, ha a hegesztett alkatrészek közül valamelyik képes elnyelni a lézersugárzást és az alkatrészek megfelelően, légrés nélkül össze vannak nyomva; a nagy kristályos részarányú polimerek csak bizonyos vastagságig hegeszthetők; továbbá a hegesztést végző személyek biztonságáról, leginkább a megfelelő szemvédelemről gondoskodni kell [7, 8].

Szakirodalmi adatok alapján a lézerhegesztési technológia fém-polimer közötti kötések létrehozására is alkalmazható. A publikációk legtöbbször valamelyik ipari húzóágazatban (jármű- és űripar, orvostechika) felhasznált szerkezeti anyagok lézersugaras hegesztéssel történő egyesíthetőségét, valamint az alkatrészek alkalmazhatóságát vizsgálták [9, 10]. Fémek szempontjából legtöbbször valamilyen alumínium, acél vagy titán ötvözetrel dolgoztak a kutatók. Polimer anyagok szempontjából a kutatók körülbelül harmadában termoplasztikus mátrixú (általában poliamid alapú) kompozitokat, a

fennmaradó esetekben pedig a legkülönbözőbb termoplasztikus tömeg- és műszaki polimereket (PP, PET, PC, PI, PVDF) használták fel [11-13].

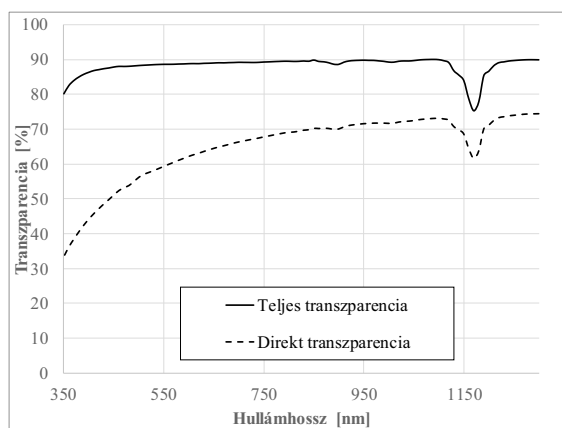
3. ALUMÍNÍUM-POLIMER KÖTÉSEK LÉTREHOZÁSA LÉZERSUGARAS HEGESZTÉSEL

Az alumínium-polimer kötések kétféleképpen hozhatók létre lézersugaras hegesztő berendezéssel: ún. transzmissziós hegesztéssel, valamint ún. direkt lézersugaras hegesztéssel. A transzmissziós hegesztés során a polimer próbatest van közelebb a lézeroptikához, a lézersugárzás a polimer próbatesten áthaladva lép kapcsolatba a polimer próbatest alá helyezett alumínium lemezzel. A lézersugárzás az alumínium lemezben elnyelődik, ennek hatására hő fejlődik. A keletkezett hő egy részét az alumínium átadja a polimernek, amitől az megömlasztett állapotba kerül: adhéziós, valamint alakkal záró kötés alakul ki az alumínium és polimer próbatest között, ha megfelelő nyomásról gondoskodunk. A transzmissziós hegesztési technológia csak akkor alkalmazható, ha a polimer lemez megfelelő mértékben áteresztő, azaz a felületén belépő lézersugárzásnak csak kis százalékát téríti (szórja), illetve nyeli el. Általános ökölszabály, hogy azon polimerek, amelyek a látható fény tartományában átlátszóak, azok a közeli infravörös sugárzás tartományában (NIR) működő lézersugárzást is nagy arányban áteresztik. Azon polimerek, amelyek a látható fény tartományában sötétebb színűek, a NIR lézersugárzást nagyobb mértékben szórják, illetve elnyelik, a nem átlátszó polimerek pedig gyakorlatilag teljes mértékben elnyelik a NIR lézersugárzást [7, 8, 14, 15].

A direkt lézersugaras hegesztés esetén az alumínium próbatest van közelebb a lézeroptikához, így a lézersugárzás nem halad át a polimer anyagon, emiatt nem számít, hogy a polimer anyag átlátszó-e. Mivel az alumínium megolvasztásához jóval nagyobb lézerteljesítményre lenne szükség a polimer anyaghoz képest, így direkt lézersugaras hegesztés esetén nagyobb lézerteljesítménnyel és gyorsabb ciklusidőkkel lehet dolgozni [7, 8, 14, 15].

4. ALKALMAZOTT BERENDEZÉSEK ÉS ANYAGOK

Jelen publikációnkban bemutatott kísérleteinkhez gyengén ötvözött, AA1050 típusú alumínium ötvözetet, valamint a gyakorlatban egyre inkább terjedő Ingeo Bioplastics 3260HP típusú politejsav (PLA) alapanyagot használtunk fel. A PLA alapanyagból az adatlapján leírtaknak megfelelő szárítás után fröccsöntéssel 2 mm vastagságú lapka próbatesteket készítettünk, majd ezekből 80 x 25 mm méretű próbatesteket vágunk ki. A kísérletek megkezdése előtt Perkin-Elmer Lambda 1050 típusú spektrofotómeter segítségével meghatároztuk a PLA alapanyag átlátszóságát a megvilágító fény hullámhosszának függvényében (1. ábra).



1. ábra PLA 3260HP típusú alapanyag direkt és teljes (direkt + szórt fényből eredő) átlátszósága

Fém és polimer közötti kötés transzmissziós hegesztéssel történő létrehozásához elengedhetetlen, hogy a lézersugárzás és a benne tárolt energia lehető legnagyobb része a polimer lemezen szóródás és elhajlás nélkül áthaladjon, a fém alkatrészben történjen meg az energia elnyelése és hővé alakulása. A spektrofotometriai vizsgálatra azért volt szükség, hogy meghatározzuk, a polimer az alkalmazott lézersugárzás hullámhosszán milyen mértékben áteresztő, a lézersugárzás hány százalékát engedi át. Ennek alapján lehet eldönteni, hogy érdemes-e transzmissziós hegesztési módszerrel hegeszteni, avagy az anyag olyan mértékben elnyelő, hogy transzmissziós hegesztés során az anyag degradációja

várható és inkább direkt lézersugaras módszerrel érdemes kötések létrehozni.

Az 1. ábrán két különálló mérés eredményei láthatók: a szaggatott vonallal ábrázolt görbe mutatja az anyagon elhajlás és szóródás nélkül áthaladó lézersugárzás százalékos arányát. A teli vonallal ábrázolt görbe a vizsgált anyagon szóródással vagy anélkül áthaladt (teljes) fénymennyiség százalékos arányát mutatja.

A hegesztéseket egy Trumpf TruDiode 151 típusú (Trumpf GmbH & Co. KG, Németország) lézersugaras hegesztő berendezésen (diódalézeren) végeztük el, amelynek teljesítménye 3-150 W között változtatható, 1 W-os lépésközből. A diódalézer fix optikával (ún. kollimátorral) van felszerelve, a kilépő lézersugár fókuszpontjának magasságát a kollimátorra szerelt mikrométerrel, 5 μm lépésközzel lehet változtatni. Az előállított lézersugárzás hullámhossza ezen a berendezésen 970 nm, tehát az 1. ábrán látható mérési eredmények alapján a PLA anyag a lézersugárzás ~ 75 százalékát szóródás nélkül engedi át (amíg a szórt lézersugarakat is beleszámolva ez az érték ~ 90 százalékra módosul). Ennek alapján a kötések transzmissziós, vonalmenti hegesztéssel hoztuk létre úgy, hogy a próbatestek felületeit metanolba áztatott papírtörölvél megtisztítottuk, majd a próbatesteket egymáshoz szorítva egy mozgatóasztalra helyeztük, végül adott sebességgel elmozdítottuk a lézersugár alatt.

Az elkészített átlapolt kötések egy Zwick Z005 (ZwickRoell GmbH & Co. KG, Ulm, Németország) típusú univerzális anyagvizsgáló berendezésen, kvázi-statisztikus nyíróvizsgálattal minősítettük szobahőmérsékleten, a vizsgálati sebesség 5 mm/perc volt.

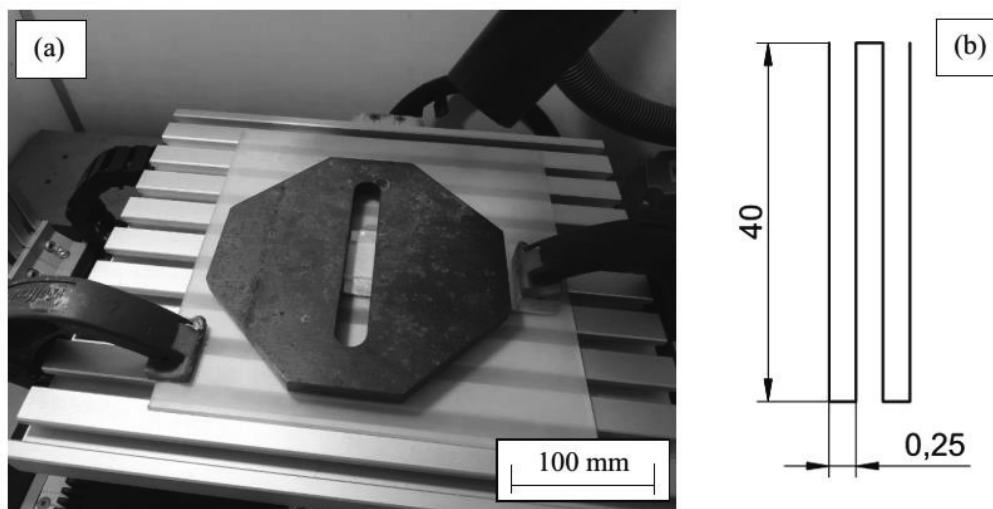
5. AZ ANYAGOK ÖSSZEKÖTHETŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Annak meghatározására, hogy a kiválasztott anyagok között létrehozható-e kötés lézersugaras hegesztési technológiával, a próbatesteket (transzmissziós hegesztésnek megfelelő elrendezésben) átlapolt elrendezésben, egy 1,25 kg tömegű nehezék felhasználásával összeszorítottuk (2. ábra).

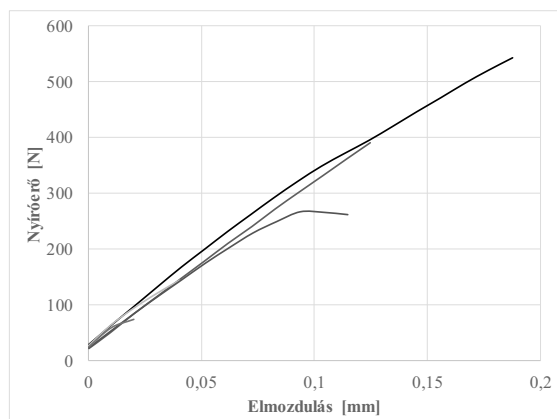
Ezután kerestük azon hegesztési folyamatparaméter-tartományokat, amelyek alkalmazása esetén kötés alakult ki az alumínium és polimer próbatestek között. Ez 150 W teljesítmény, 2 mm/perc hegesztési sebesség és 4 hegesztési ciklus esetén valósult meg. Egy hegesztési ciklus jelen kísérletek során azt jelenti, hogy a lézersugár végighalad egy 40 mm hosszú vonal mentén, majd a következő ciklushoz a próbatesteket oldalirányban odébb mozgattuk, hogy ne a már besugárzott vonal mentén haladjon végig ismét a lézersugár (2. ábra, b).

Az előző bekezdésben felsorolt paraméterekkel előállított kötések tönkremenetele átlagosan 280 N erőnél ment végbe (a szakirodalom-

ban ennél nagyobb teherbírású kötések is előállítottak már, azonban alumínium és PLA közötti kötést létrehozásáról és vizsgálatáról eddig még senki sem közölt publikációt), ugyanakkor mind a tönkremenetelhez tartozó erő, mind a megnyúlás értékei jelentős szórást mutattak (3. ábra). Ennek egy lehetséges oka az, hogy szakirodalmi adatok alapján az alumínium felületének előkészítése, felületi struktúrák kialakítása jelentősen befolyásolja az elérhető kötésszilárdság értékét. Jelen publikációban bemutatott kísérleteink során az alumínium felületét P60-as dörzspapírral érdesítettük a metanollal történő megtisztítás előtt.



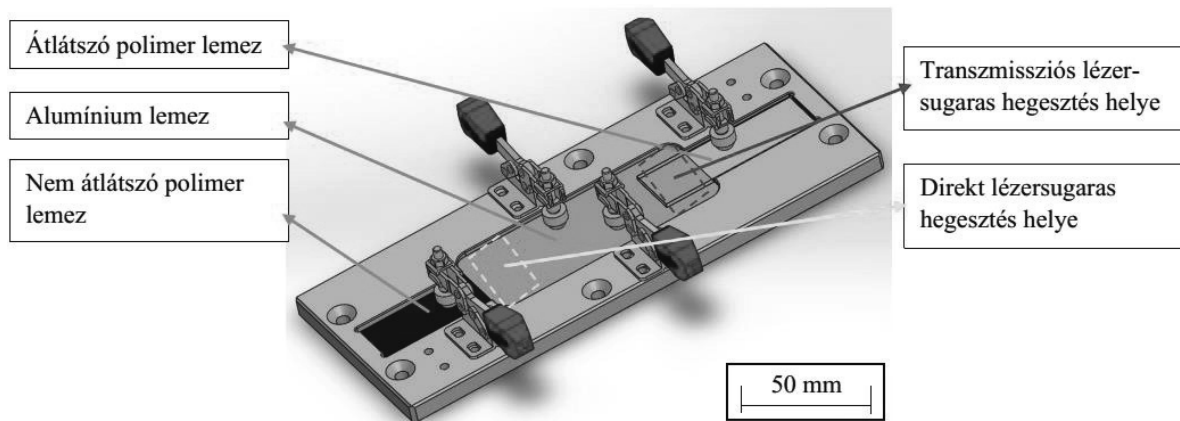
2. ábra Az összeköthetőség vizsgálatához előkészített kötési elrendezés (a) és a vonalmenti hegesztés pályája (az értékek milliméterben értendők) (b)



3. ábra 5 darab alumínium-PLA kötés szakítóvizsgálata során kapott erő-elmozdulás görbék

6. A LEFOGÓKÉSZÜLÉK TERVEZÉSE

A próbatestek légrésmentes összeszorítására a 4. ábrán látható lefogókészüléket terveztük meg. Ennek segítségével akár egy hegesztési fázisban, a készülék elmozdítása nélkül létrehozható kötés transzmissziós és direkt lézersugaras hegesztési módszerrel, egy alumínium próbatest és két különböző polimer próbatest felhasználásával. A próbatesteket ezen lefogókészülékben karos leszorítóegységek segítségével szorítottuk össze a 4. ábrán is látható módon, amíg a lefogókészüléket megfelelő csavarokkal egy T-hornyos munkaasztalhoz erősítettük hozzá.



4. ábra Leszorítókészülék, első verzió

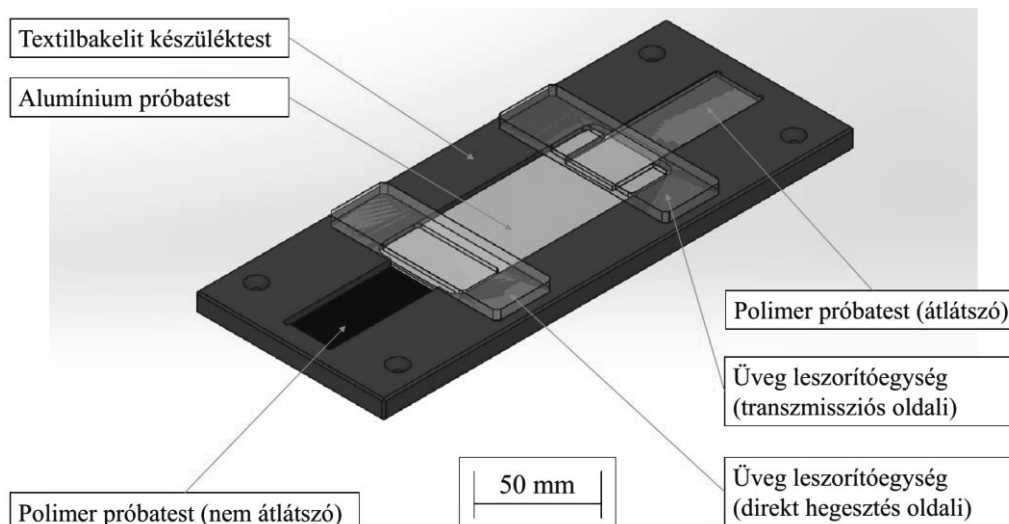
A készülék legyártása után megfelelőségi vizsgálatokat végeztünk el, amelynek során több probléma is adódott a leszorítókészülékkel kapcsolatban. Ezek közül a legfontosabb a próbatetek összeszorításához kapcsolódik: a karos lefogók a kötési zónától túl messze érintkeznek a próbatetekkel, emiatt nem biztosítható ezek légrémentes összeszorítása. A készülék kialakítása miatt nem lehet befolyásolni a próbateteket összeszorító erő nagyságát sem. Az is probléma, hogy a direkt lézertücsugaras hegesztéssel készített próbatetek eltávolítása nehézkes (a kötés maradó deformációja nem kerülhető el), továbbá hogy a lefogókészülék alumínium teste hőt von el a kötési zónából.

Ezen problémák kiküszöbölésére egy új lefogókészüléket terveztünk meg, amely az 5. ábrán látható. A készülék továbbra is hozzáerősíthető a T-hornyos munkaasztalunkhoz, valamint felépítése továbbra is alkalmassá teszi egy fázisban két kötés (egy transzmissziós és egy direkt lézertücsugaras hegesztési módszerrel történő) létrehozására. A készülék teste textílbakelitből marással kerül kialakításra, amely az alumíniumhoz képest rosszabb hővezető, tehát kevésbé vezeti el a hegesztési folyamat során keletkezett hőt a kötési zónából. A próbatetek összeszorítását karos lefogók helyett két egyedileg tervezett, üvegből készített ablakos lefogóeszközzel oldjuk meg, amelyek biztosítják a leszorítóerő egyenletes eloszlását az adott felületen, valamint a lézertücsugárzás szempontjából átlátszók.

Az ablakos lefogóeszközök és a készülék teste közötti kapcsolatot rugós előfeszítésű karos lefogókkal tervezzük megvalósítani. A direkt lézertücsugaras hegesztési eljárással készült próbatetek eltávolításának problémáját a próbateteket befoglaló furatok alakjának módosításával oldottuk meg.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen publikációnkban szakirodalmi összefoglalás után bemutattuk és igazoltuk, hogy AA1050 típusú alumínium ötvözet és PLA között létrehozható kötés lézertücsugaras hegesztési eljárással. Az azonos paraméterekkel készített kötések nyíróvizsgálata során jelentős eltéréseket találtunk mind a kötés tönkremeneteléhez tartozó nyíróerő, mind az elmozdulás értékek között. Ennek oka valószínűleg az alumínium nem megfelelő felületi előkészítése, illetve a próbatetek nem megfelelő összeszorítása volt. A próbatetek precíz összeszorításához megterveztünk egy leszorítóeszközt, amellyel kapcsolatban a gyakorlati alkalmazás során több probléma is felmerült. Ezeket a leszorítóeszköz módosításával fogjuk kiküszöbölni úgy, hogy a próbatetek összeszorítását egy egyedileg tervezett, ablakos lefogóeszközzel valósítjuk meg. A kész kötések egyszerűbb eltávolítása érdekében kis mértékben módosítottuk az eredeti lefogókészülék felépítését is.



5. ábra Áttervezett lefogókészülék

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Hirsch J.: Recent development in aluminium for automotive applications. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **24**, 1995-2002 (2014).

[2] Zhou J., Wan X., Li Y.: Advanced aluminium products and manufacturing technologies applied on vehicles presented at the eurocarbody conference. Materials Today: Proceedings, **2**, 5015-5022 (2015).

[3] Marsh G.: Composites and metals – a marriage of convenience? Reinforced Plastics, **58**, 38-42 (2014).

[4] Ucsnik S., Scheerer M., Zaremba S., Pahr D. H.: Experimental investigation of a novel hybrid metal-composite joining technology. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, **41**, 369-374 (2010).

[5] Feistauer E. E., Guimarães R. P. M., Ebel T., dos Santos J. F., Amancio-Filho S. T.: Ultrasonic joining: A novel direct-assembly technique for metal-composite hybrid structures. Materials Letters, **170**, 1-4 (2016).

[6] Chen Y. J., Yue T. M., Guo Z. N.: A new laser joining technology for direct-bonding of metals and plastics. Materials & Design, **110**, 775-781 (2016).

[7] Rotheiser J.: Joining of plastics - handbook for designers and engineers. Carl Hanser Verlag, Munich, Germany (1999).

[8] Troughton M. J.: Handbook of plastics joining a practical guide, 2nd edition. William Andrew Inc., Norwich, NY, USA (2008).

[9] Jung K.-W., Kawahito Y., Takahashi M., Katayama S.: Laser direct joining of carbon fiber reinforced plastic to zinc-coated steel. Materials & Design, **47**, 179-188 (2013).

[10] Jung K.-W., Kawahito Y., Takahashi M., Katayama S.: Laser direct joining of carbon fiber reinforced plastic to aluminum alloy. Journal of Laser Applications, **25**, 032003 (2013).

[11] Farazila Y., Miyashita Y., Hua W., Mutoh Y., Otsuka Y.: Yag laser spot welding of pet and metallic materials. Journal of Laser Micro/Nanoengineering, **6**, 69-74 (2011).

[12] Borrisutthekul R., Saengsai A., Mitsomwang P.: Dissimilar materials laser welding between stainless steel 304 and thermoplastics. Key Engineering Materials, **719**, 142-148 (2016).

[13] Rodríguez-Vidal E., Sanz C., Lambarri J., Renard J., Gantchenko V.: Laser joining of different polymer-metal configurations: Analysis of mechanical performance and failure mechanisms. Physics Procedia, **83**, 1110-1117 (2016).

[14] Amancio-Filho S. T., Blaga L.: Joining of polymer-metal hybrid structures - principles and applications. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, United States of America (2018).

[15] Csiszér Tamás, Molnár László, Temesi Tamás: A (monokromatikus) fény az alagút végén. Részeredmények a fém-polimer hibrid szerkezetek lézergusarás kötésteknológiájában. Acta Periodica, 15. kötet; Felkészülés az új évtizedre: a technológia és a gazdaság új kihívásai, p. 75-85 (2018).