

A (monokromatikus) fény az alagút végén Részeredmények a fém-polimer hibrid
szerkezetek lézersugaras kötéstechológiájában
Csiszér T., Molnár L., Temesi T.

Accepted for publication in Acta Periodica Edutus

Published in -0001

DOI:

A (MONOKROMATIKUS) FÉNY AZ ALAGÚT VÉGÉN RÉSZEREDMÉNYEK A FÉM-POLIMER HIBRID SZERKEZETEK LÉZERSUGARAS KÖTÉSTECHNOLÓGIÁJÁBAN

DR. CSISZÉR TAMÁS, főiskolai docens
MOLNÁR LÁSZLÓ, főiskolai adjunktus
Edutus Egyetem

TEMESI TAMÁS, doktorandusz
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Absztrakt

Az alábbi munka a lézersugaras hibrid kötések létrehozási lehetőségeinek vizsgálatát célzó kutatás eddigi szakaszainak eredményeit foglalja össze. Ennek során beszereztük a kísérletek szükséges alapanyagokat, valamint elvégeztük azokat a kísérleteket, amelyek célja a fém és a műanyag próbatestek viselkedésének vizsgálata a lézersugárral történő megmunkálásuk során, majd ez alapján kijelöltük azt a technológiai ablakot, amelyben reális esély van a hibrid kötés létrehozására. A meghatározott keretek között elkészítettük a szükséges kísérleti terveket, majd ezeket végrehajtottuk. Az elkészített próbatesteket manuális vizsgálatok alá vetettük, hogy ellenőrizzük a cél, azaz az értelmezhető szilárdságú kötés létrejöttét. Végül a kísérleti tervek alapján kiválasztott technológiai paraméterekkel megterveztük a kísérleti gyártást.

Abstract

The goal of this study is to summarize the key findings of the first phases of our research aimed to create laser assisted joining between plastic and metal specimens. During this project raw materials were purchased, tests were conducted to analyse behaviour of materials, and technology parameters necessary to produce hybrid joining were identified. In the frames set by these activities we designed and conducted experiments aimed to assess the connection between factors and system answer. Finally, we planned experimental production.

X X X

Bevezetés, célok

A kutatás tárgya biobázisú társító anyagokkal erősített műanyagok és fémek kötése lézersugaras technológiával. Célunk, hogy azonosítsuk azokat a technológiai paramétereket, amelyek jelentős hatással vannak a kötés megfelelőségére, optimaljuk ezek értékeit az anyagi minőség és a kötésre vonatkozó minőségi elvárások függvényében, valamint kidolgozzunk olyan eljárásokat, amelyek alkalmasak a kötések vizsgálatára a munkánk során alkalmazott speciális anyagi összetétel és feldolgozási körülmények esetén. A projekt jelenlegi

szakaszában a célunk a kísérleti gyártáshoz szükséges optimális technológiai paraméterek azonosítása.

A téma felvezetése, a vonatkozó szakirodalom bemutatása, értékelése ¹¹

A műanyag-fém hibrid szerkezetek népszerűsége az iparban, azon belül különösen a közlekedési eszközök gyártásában folyamatosan növekszik. A számos ok közül talán a tömeg- és az ennek köszönhető költségcsökkentés jelenik meg leggyakrabban azzal a megjegyzéssel, hogy a kiváltandó fémszerkezet mechanikai tulajdonságaihoz hasonlóakkal kell rendelkeznie a hibrid szerkezetnek is. Az ideális anyagpárok keresése mellett jelentős erőforrások fordítódnak a megmunkálási módszerek hibrid szerkezetekre történő optimalizálására érdekében is. A munkát nehezíti, hogy a műanyagok és a fémek jelentős mértékben különböznek egymástól mind fizikai, mind kémiai szerkezetüket tekintve, amelynek köszönhetően eltérő viselkedést mutatnak a hagyományos feldolgozási technológiák alkalmazása során (Amancio-Filho, 2009).

A lézersugár a hibrid szerkezetek feldolgozása során felhasználható – többek között - vágásra és kötések létrehozására. Mindkét esetben figyelembe kell venni a különböző anyagok, esetünkben a műanyag és a fém eltérő összetételét és tulajdonságait, amelyek hatással vannak a lézersugárral történő találkozás során tapasztalható viselkedésükre. Ha a műanyag tartalmaz társító anyagokat, a jelenség még komplexebb.

Kutatások bizonyítják, hogy megfelelő technológiai paraméterek beállítása esetén a komponensek kohéziójánál erősebb adhéziós kapcsolat érhető el lézersugár használatával (Rauschenberger, 2015). Jung és társai szénszálerősítésű műanyagok és cink bevonatos acél kötését hozták létre lézersugár segítségével. Munkájuk során bizonyították, hogy 3300 N szilárdságú átlapoló kötést tudtak létrehozni, köszönhetően a kialakult mechanikai, kémiai és fizikai kötéseknek (Jung, 2013). Bauernhuber poli(metil-metakrilát) és acél penetrációs kötését hozta létre és vizsgálta, bizonyítva a technológia alkalmazhatóságát (Bauernhuber, 2015). A kötés erősségét jelentős mértékben befolyásolja a műanyag komponens polimer láncainak szerkezete, konformációja és kapcsolatrendszere (Cheon, 2014). Bizonyos körülmények között buborékok keletkezhetnek a műanyagban található monomer maradékoknak és segédanyagoknak köszönhetően, amelyek - méretük és mennyiségük függvényében - a kötés erősségét kedvezően vagy kedvezőtlenül befolyásolhatják (Buza,

¹¹ Ez a fejezet megegyezik az alábbi publikáció hasonló fejezetével, tekintettel arra, hogy ugyanazon projekt második fázisát mutatja be: Csizsér, T (2018): Lézersugaras technológiák alkalmazása a hibrid szerkezetek létrehozásában és megmunkálásában. Acta Periodica 13. Kötet. Edutus főiskola. Tatabánya.

2015). Javítható az adhézió a fémfelület strukturálásával annak érdekében, hogy nagyobb felületen tudjon kapcsolódni a két komponens (Rodríguez-Vidala, 2014).

Hibrid szerkezetek lézersugaras vágása

A lézersugaras vágási technológiák előnyeként gyakran az alábbiakat szokták megjelölni:

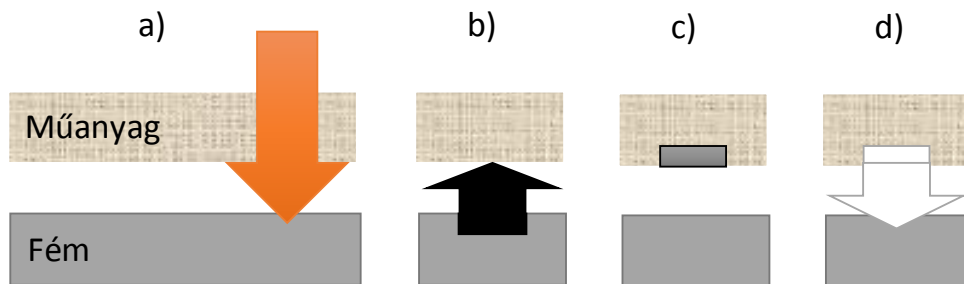
- a megmunkálás érintésmentes, a befogási pontoknál nem jelentkeznek feszültségcsúcsok,
- a megmunkált felület – elsősorban kis vastagságok esetén – egyenletes, utólagos megmunkálást nem vagy csak kis mértékben igényel,
- pontos vágást eredményez, köszönhetően a lézersugár monokromatikus jellegének,
- időben és térben jól szabályozható (keskeny termikus zóna),
- magas termelékenység.

A hibrid szerkezetek esetén is igazak a fenti megállapítások, de – elsősorban a műanyag komponensnek köszönhetően – számos kihívással kell megküzdeni az előnyök maximális kihasználása érdekében. A műanyag mátrixnak és a társító anyagnak eltérőek az elnyelési, vezetési, oladási és degradációs jellemzői. A gyakran szálak formájában jelen lévő erősítő anyag orientációja nem egyforma, amely ezen tulajdonságok irányfüggőségét okozza. Ennek köszönhetően az egyik anyag által igényelt vágási energia és sebesség esetlegesen a másik összetevő tönkremenetelét idézheti elő. Az erősítő szálak eltéríthetik az alkalmazott gázugarat, amely egyenlőtlen vágatot eredményezhet. A feldolgozás során olyan gázok (monomerek, segédanyagok) keletkezhetnek, amelyek az emberi egészségre károsak.

A technológiai paraméterek közül kiemelt jelentőséggel bír az alkalmazott vágási teljesítmény és sebesség. Értékeik meghatározásánál figyelembe kell venni a műanyag esetleges hőérzékenységet és a vágandó test vastagságát, amelyek ellentétes elvárásokat támaszthatnak a beállítással szemben. A nem kívánt degradáció elkerülése érdekében alacsonyabb teljesítmény és nagyobb sebesség, illetve az optimális értékpár alkalmazása a cél. A vastagság növekedése a teljesítmény növelését és a sebesség csökkentését igényli. A vágási vastagság nagymértékben függ a lézersugár átmérőjétől, illetve a fókusztávolságtól is. A lencse fókusztávolságának növelésével nő a fókuszpont környezetében lévő azon terület nagysága, amelyet a fókuszpontéhoz hasonló energiamennyiség ér el, amelynek köszönhetően vastagabb testek átvágása is lehetséges. Ugyanakkor ezzel a vágási rés vastagsága is növekszik.

Hibrid szerkezetek lézersugaras kötése

A műanyag-fém hibrid szerkezetek lézersugaras kötési technológiáit a szakirodalom összefoglaló néven LAMP (Laser Assisted Metal Polimer) eljárásoknak hívja. A hagyományos, azonos anyagok között alkalmazott hegesztési eljárásoktól eltérően itt a nem látható felületek között létrejövő kötések kialakítása terjedt el, amelyet transzmissziós vagy közvetett ráolvasztásnak nevezünk. Az eljárás lényege, hogy a műanyag komponens által átengedett, jellemzően a közeli infra tartományba (800-1500 nm) tartozó elektromágneses sugárzást a műanyag felől besugározzák a hibrid szerkezetbe, amelynek fém komponense azt elnyelve felmelegszik és átadja a hőenergia egy részét a műanyag komponensnek. Ez utóbbi megömlesztett állapotba kerülve kitölti a fém felületén található egyenetlenségeket, létrehozva ezzel lehűtés után az alakzáró kötést. Az eljárás lépéseit az 1. ábra illusztrálja.



ábra 1: A transzmissziós ráolvasztási eljárás lépései: a) fém felmelegítése; b) hőátadás műanyagnak; c) műanyag megömlése; d) kötés létrehozása.

A műanyagban lévő társító anyagok eltérő módon viselkedhetnek a besugárzás során. Összetételtől függően elnyelhetik a lézersugarat, amellyel lokális felmelegedést vagy szélsőségesebb esetben degradációt szenvedhetnek el és idézhetnek elő a mátrix anyagában. Mindkét esetben gyengülhet a mátrix és a társító anyag közötti adhézió, amelynek hatására a műanyag komponens mechanikai tulajdonságai kedvezőtlenül változhatnak.

A technológiai paraméterek közül jelentős hatást gyakorolhat a kötés megfelelőségére az érintkező felületek egyenetlensége. A fém strukturált felülete javíthatja az adhéziót tekintettel arra, hogy a megömlesztett és lehűtött polimer több helyen tud megkapaszkodni a fémen. Ugyanakkor a nagy egyenetlenségek csökkentik a felületek érintkezési pontjainak számát és területét, amely akadályozhatja a hőátadást, redukálva ezzel a megömlesztés hatékonyságát. Ez a negatív hatás csökkenthető a komponensek megfelelő nagyságú és időtartamú öszenyomásával, habosító adalék alkalmazásával, valamint a lézersugár teljesítményének, illetve teljesítménysűrűségének megfelelő megválasztásával is.

Az alkalmazott anyagok és módszerek

Az eredeti tervek szerint az alábbi anyagokkal kívántunk dolgozni:

- Fém: EN AW-Al 99,8(A).
- Műanyag: PMMA (poli(metil-metakrilát)), Altuglas V 825T CLEAR 101.
- Társító anyag: vegyes fafajösszetételű farost, defibrátor eljárással készítve. Gyártó: Kronospan-MOFA Hungary Kft. A szálak tömegszázalékos aránya 1 és 10 W% között változik, minden egész számot felvéve.

A fém próbatestek esetében acéllal is dolgoztunk, a későbbiekben részletezett okok miatt.

A műanyag komponenst a Soproni Egyetem szállította. Az előállítás módja:

- Kompaundálás: LabTech ikercsigás extruder – Maxi Compounder, 48 L/D.
- Fröccsöntés: Arbourg ALLROUNDER 270 S 400 - 100 advance.

Az eredeti tervek szerint a műanyag próbatestek mérete:

- Teljes hossz: 155 mm.
- Elvékonyított szakasz hossza: 90 mm.
- Elvékonyított szakasz szélessége: 10 mm.
- Vastagság: 4 mm.

Ezt szintén módosítottuk a rendelkezésre álló PMMA próbatestek kis száma miatt. A később bemutatott kísérletekben a próbatestek mérete fém és műanyag esetében is:

- Teljes hossz: 50 mm,
- Szélesség: 10 mm,
- Vastagság: 0,4 mm.

Az eredeti tervek szerint az alkalmazandó berendezés és eljárás: TruDisk 4001 Ytterbium-YAG Laser sugárforrás és TruLaser Cell 7020 CNC cella. A lézersugárforrás maximális vágási teljesítménye 4000 Watt. Besugárzás a műanyag komponens felől. Az előkísérletek tapasztalatai alapján ezt kiegészítettük a fém oldali besugárzással is. Továbbá az említett szilárdtestes lézersugaras berendezés mellett használtunk dióda lézert is (Trudiode 151: 920, 970 nm, 3-150 W, CW), elsősorban a műanyag oldali besugárzással létrehozott ponthegesztésre.

A téma tárgyalása

A kutatási munka során számos előkísérletet végeztünk el a hibrid kötés létrehozását biztosító technológiai ablak beazonosítására. Ezek rövid összefoglalását az alábbiakban mutatjuk be.

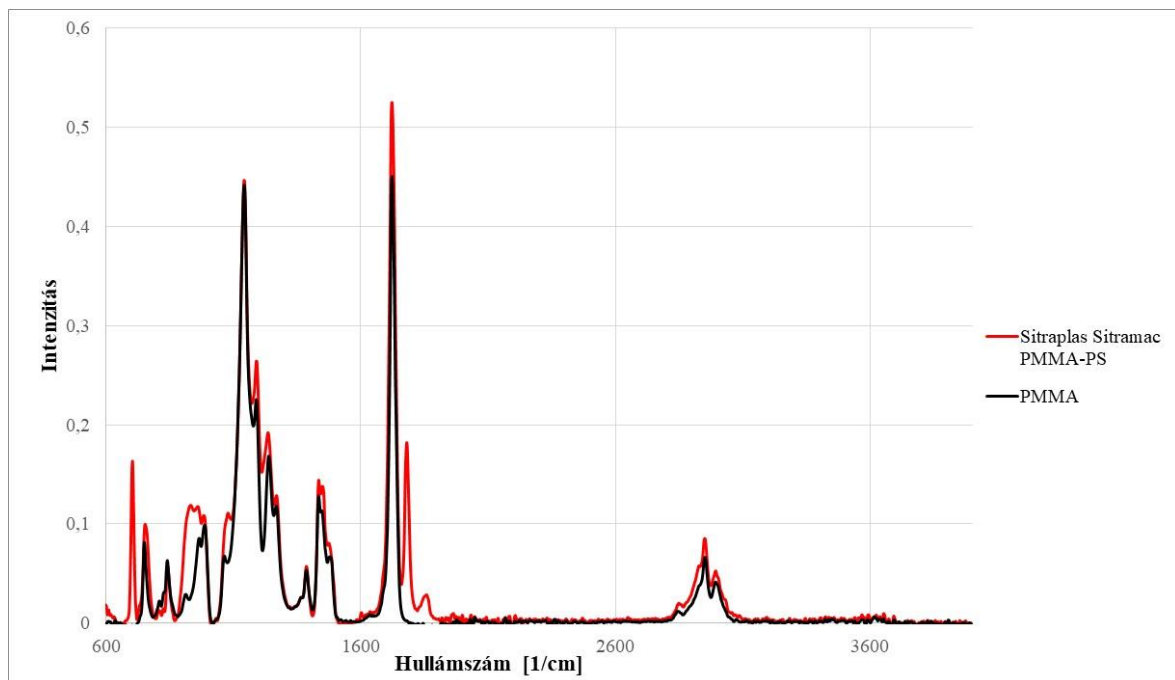
Anyagvizsgálat

Megvizsgáltuk a beszerzett PMMA anyagösszetételét, valamint transzparenciáját az elektromágneses sugárzásra. A próbatestet az (ábra 2) mutatja be.



ábra 2: A beszerzésre került, társítóanyagmentes PMMA próbatest.

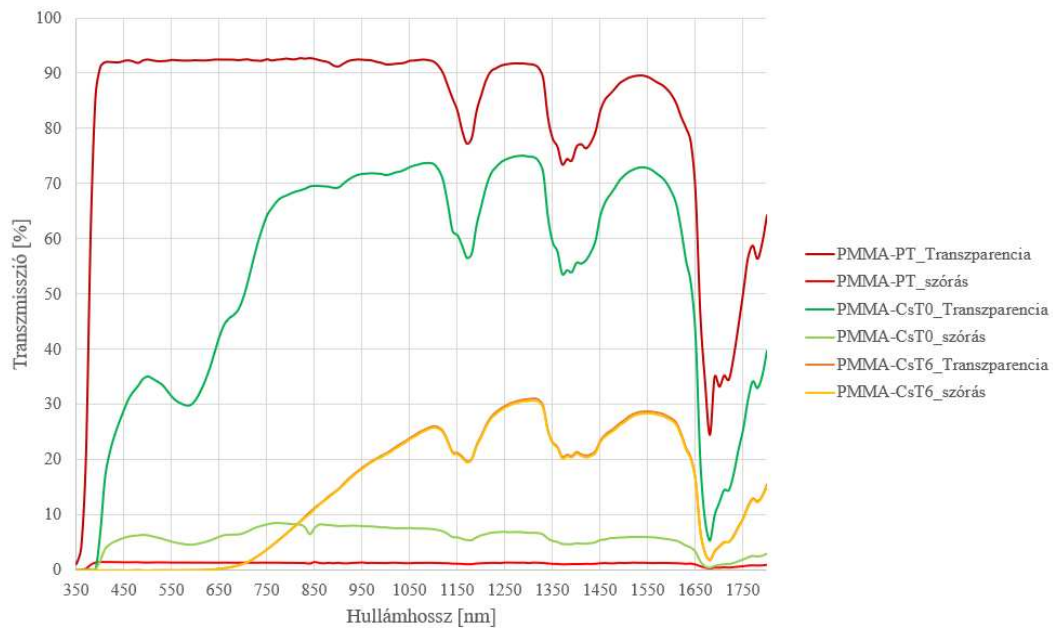
A mintánk anyagösszetételét FTIR vizsgálat segítségével hasonlítottuk össze ismert összetételű PMMA homopolimerével. Az eredményt az (ábra 3) mutatja be. E szerint – szemben a beszállítótól kapott specifikációval – a mintánk a PMMA-n kívül PS-t, valamint a próbatestek sötétszürke színét okozó egyéb komponenst is tartalmaz.



ábra 3: FTIR összetétel összehasonlító vizsgálat eredménye.

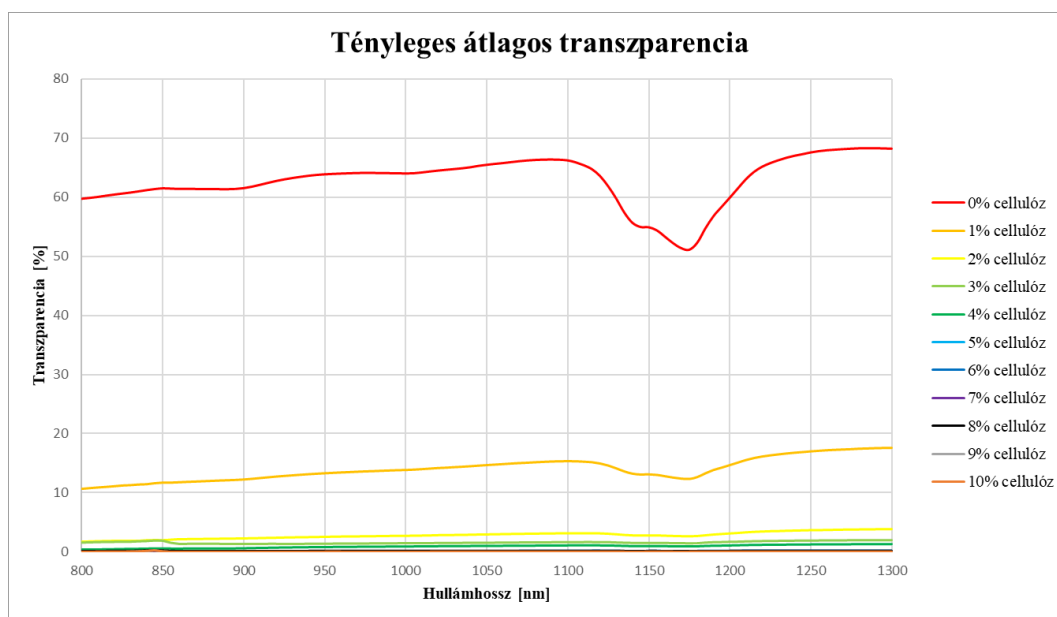
A következő lépésben megvizsgáltuk, hogy a lézersugaras technológiák szempontjából érdekes tartományban az elektromágneses sugárzás mekkora részét engedi át a mintánk. A társítóanyagmentes PMMA (ábra 4, fentről a második, zöld görbe) transzparencia értéke 950 – 1050 nm közötti hullámhossz tartományban 72-73%. Ezzel szemben az ismert összetételű PMMA homopolimer transzparenciája ugyanitt 92%. Ez alátámasztja – a próbatestek színe alapján felmerült - gyanút, hogy több sugárzást fog abszorbeálni a feldolgozás során az

anyagunk, mint a víztiszta PMMA, amely kedvezőtlen hatást gyakorol a degradációjára és a feldolgozás hatékonyságára.



ábra 4: A társítóanyag nélküli PMMA minta transzparencia vizsgálata.

Arra is választ kerestünk, hogy a cellulóztartalom hogyan és milyen mértékben befolyásolja a transzparenciát (ábra 5). Az eredmények megerősítették azt a hipotézisünket, hogy a társítóanyag hozzáadásával ugrásszerűen, mennyiségének növekedésével pedig kisebb mértékben, de arányosan csökken a minta által áteresztett sugárzás mennyisége.



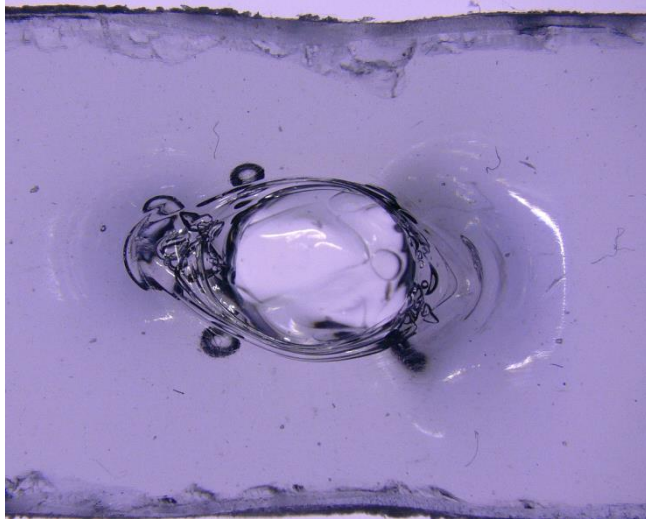
ábra 5: A különböző mennyiségű társítóanyagot tartalmazó PMMA minta transzparencia vizsgálata.

Kísérletek

Az anyagvizsgálatokból azt a következtetést vontuk le, hogy a hibrid kötés létrehozása során, a műanyag felőli besugárzás esetén a PMMA szürke színét okozó ismeretlen adalékanyag, valamint a társítóanyag szemcséi jelentős abszorpciót fognak okozni, amely megnehezíti, illetve akár lehetetlenné is teheti a kötés létrejöttét.

Annak érdekében, hogy a hipotézisünk helyességét ellenőrizzük, kísérleteket folytattunk, elsősorban a műanyag próbatestünk hőhatásra és lézersugárzásra adott válaszának tesztelésére. Az eredmények a következőképpen foglalhatók össze:

1. Megállapítás: Al-nal nem lehet összekötni a társítóanyag mentes PMMA-t egyik oldali besugárzással sem. Kis vonalenergiánál az Al nem melegszik fel eléggé, nagynál a PMMA degradálódik, kötés létrejötte nélkül. Ugyanezt tapasztaltuk akkor is, amikor eltávolítottuk az Al oxid-réteget.
2. Megállapítás: a PMMA degradációjának mértékét a teljesítmény, az előtolási sebesség és a ciklusszám befolyásolja szignifikánsan, ugyanakkor a cellulóz tartalomnak nem szignifikáns a hatása. Ez ellentmond annak a korábbi megállapításnak, hogy a cellulóz részecskék csökkentik a transzparenciát. Ennek oka az lehet, hogy a mátrix anyaga érzékenyebben és gyorsabban reagál a besugárzásra, mint a társító anyag, aminek hatására tovább sötétedik, növelve így az abszorbanciát. A folyamat öngerjesztő. Kötés egyik kísérletnél sem jött létre az Al és a PMMA között. A degradáció szempontjából ideális beállítás: Teljesítmény (P) = 10 W, előtolási sebesség (V) = 20 mm/sec, ciklusszám (C) = 5 db. Berendezés: Trudiode.
3. Megállapítás: ponthegeztéssel, T = 20 perces, erősítetlen PMMA felőli besugárzási idővel, 12W teljesítménnyel létrehozható viszonylag erős kötés PMMA és acél között. Al-ot használva nem jött létre kötés. A PMMA degradációja jelentős, lyuk képződik, amely időnként „beheged” (ábra 6). Berendezés: Trudiode.
4. Megállapítás: acél felőli besugárzással, C = 3 ciklusnál és V = 1 m/min sebességen értelmezhető a kötés, P = 210W és P = 260W teljesítményen is. A cellulóz tartalom növekedése enyhén gyengíti a kötés erősségét, de sem a P, sem a V, sem a ciklusszám, sem a cellulóz tartalom nem befolyásolja szignifikánsan a kötéserősséget, illetve a PMMA és az acél degradációját sem. Berendezés: TruLaser Cell.



ábra 6: PMMA degradációja 20 perces, PMMA felőli besugárzásos, 12W teljesítményű ponthegeztésnél.

A kísérletek eredményei alapján megállapítottuk, hogy alumínium helyett acélt kell alkalmaznunk. Műanyag felőli besugárzással csak ponthegeztéssel és nagy ciklusidővel hozható létre kötés a társítóanyagmentes PMMA próbatest és az acél próbatest között. Fém felőli besugárzással is létrehozható kötés. Ezek alapján a kötéserősség műszeres vizsgálatához az alábbi próbagyártásokat végezzük el:

1. 10 db. társítóanyagmentes PMMA-Acél kötés, fém felőli besugárzás, $C = 3$ db, $V = 1$ m/min, $P = 210$ W. Berendezés: TruLaser Cell (Edutus labor).
2. 10. db társítóanyagmentes PMMA-Acél kötés, fém felőli besugárzás, $C = 3$ db, $V = 1$ m/min, $P = 260$ W. Berendezés: TruLaser Cell (Edutus labor).
3. 10 db. társítóanyagmentes PMMA-Acél kötés (ponthegeztés), műanyag felőli besugárzás, $T = 20$ min, 12 W Trudiode (BME labor).

Összefoglaló

A lézersugaras műanyag–fém kötés létrehozását célzó kutatásunk keretében kísérleteket folytattunk annak megállapítására, hogy a technológiai beállítások, illetve az alapanyag típusa és összetétele milyen hatást gyakorol a kötés létrehozására. Megállapítottuk, hogy a rendelkezésünkre álló, társítóanyagmentes PMMA és acél próbatestek között tudunk kötést létrehozni, a besugárzás irányától függő eltérő technológiai ablakok alkalmazásával. A következő időszakban a beazonosított technológiai paraméterekkel próbatesteket gyártunk, majd a kialakult kötés erősségének meghatározására nyíróerő-vizsgálatokat végzünk.

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott eredmények az EFOP 3.6.1-16: „Lézer technológiai és energetikai alapkutatás megvalósítása az Edutus Főiskolán, tudástranszfer, továbbá a vállalati kapcsolatok és a társadalmi szerepvállalás erősítését célzó tevékenységekkel kiegészítve” c. projekt keretében valósultak meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Amancio-Filho S.T. et.al: Joining of Polymers and Polymer–Metal Hybrid Structures: Recent Developments and Trends. *Polymer Engineering & Science*. Volume 49, Issue 8, 2009, pages 1461–1476.

Bauernhuber A. et.al: Lézerátersztő fém-polimer kötés kialakításának vizsgálata. *Gépgyártás, LV. Évfolyam*, 2015.1. szám.

Buza G. et.al: Műanyagok és fémek lézer hatására történő közvetlen összekapcsolásának (direct joining) lehetőségei az autóiparban. *Gépgyártás, LV. Évfolyam*, 2015.1. szám.

Cheon J. et.al: Relation of joint strength and polymer molecular structure in laser assisted metal and polymer joining. *Science and Technology of Welding and Joining*, Volume 19, Issue 8. 2014, pages 631-637.

Jung K.W. et.al: Laser direct joining of carbon fiber reinforced plastic to zinc-coated steel. *Materials & Design*. Volume 47, May 2013, pages 179–188.

Rauschenberger J. et.al: Laser hybrid joining of plastic and metal components for lightweight components. From Conference Volume 9356 High-Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics, and Applications IV Friedhelm Dorsch. San Francisco, California, United States | February 07, 2015.

Rodríguez-Vidala E. et.al: A combined experimental and numerical approach to the laser joining of hybrid Polymer – Metal parts. 8th International Conference on Photonic Technologies LANE 2014