

ELŐ- ÉS UTÓMŰVELETEK

Műanyag és műanyag, vagy műanyag és üveg közötti kötés lézersugárral

Két különböző műanyag elem között erős és tartós kötést lehet létrehozni lézerhegesztéssel, amelyet szívesen alkalmaznak az autógyártásban, de számos más iparágban is. Korábban azonban ezt a technológiát csak akkor tudták kivitelezni, ha az egyik műanyag elnyelte a lézersugarat, a másik nem, azaz a lézersugár számára „átlátszó” volt. Az újabb fejlesztések jelentősen kitérítették a lézerhegesztés alkalmazási területeit.

Átlátszó elemeket tartalmazó eszközökben gyakran üveget kell műanyaggal összeépíteni. Ehhez tapadóanyagot vagy ragasztót használnak, de a ragasztók élettartama korlátozott, az üveg felületén pedig nehéz a ragasztót egyenletesen eloszlatni. Egy németországi kutatóintézetben azzal próbálkoznak, hogy lézersugárral mikro- vagy nanoméretű felületi mintázatot alakítsanak ki az üvegen, majd erre sajtolják rá – ugyancsak lézertechnikával – a műanyagot. A hátrametszéses finom struktúrába behatoló és ott megdermedő műanyag erős és tartós kötést hoz létre a két anyag között.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; üveg; megmunkálás; lézertechnika; hegesztés; kötéstechnika; mikrostrukturálás.

Hegesztés lézersugárral

A gépkocsik motorterében uralkodó meleg és olajos tértől a higiénikus klinikai környezetekig megtalálhatók a lézerhegesztéssel készített eszközök, mert ez a kötési technika gyors, jó hatásfokú és a vele készített termékek tartósak. Eredetileg ilyen kötést csak akkor lehetett készíteni, ha a lézersugár először a számára „átlátszó” rétegen haladt át, a második rétegben viszont elnyelődött, ezért ez a polimer megömlött és összeolvadt az első polimerrel. Mára kifejlesztettek olyan anyagokat, amelyek az emberi szem számára nem átlátszóak, de a lézersugár akadálytalanul át tud rajta haladni.

A polikarbonátok vezető gyártója, a németországi *Covestro* cég (Leverkusen) már nemcsak a gépkocsik reflektoraihoz és hátsó lámpáihoz ajánlja a lézeres hegesztést, hanem a villamos hajtású gépkocsik akkumulátortartályainak gyártásához is. Ezeket az akkumulátorokat üzem közben hűteni kell, mert enélkül csökken a teljesítményük és az élettartamuk. Egy folyadékös hűtőrendszer légmentes szigetelést igényel, hogy a folyadék szivárgását megelőzzék. Az akkumulátortartályok lézeres hegesztéséhez nincs szükség semmiféle kiegészítő segédanyagra (pl. hegesztőpálcára), és az eljárás meglehetősen költségtakarékos.

A Covestro a svájci *Leister Technology* céggel (Kaegiswil) közösen fejlesztett ki villamos hajtású személy- és tehergépkocsikhoz, továbbá autóbuszokhoz hűthető akkumulátorházakat (1. ábra). Ezeket a Covestro *Bayblend FR3010* márkanevű PC+ABS kompaundjából fröccsöntik. Ez a polimer az emberi szem számára átlátszatlan, csökkentett éghetőségű, nagy ütésállóságú, hőálló, vegyi anyagoknak ellenálló, kondenzációra nem érzékeny műanyag,

amelynek hőterhelés alatti alakváltozása és fizikai tulajdonságai között jó egyensúly van. Az akkumulátor moduljait a Leister *WS-AT* lézeres hegesztőrendszerével építették össze.



1. ábra A Covestro és a Leister Technology villamos gépkocsikhoz közösen kifejlesztett, lézertechnikával hegesztett hűthető akkumulátorainak moduljai

A *Lanxess* cég (Köln, Németország) ugyancsak kifejlesztett lézerral hegeszthető műanyagokat, amelyek alkalmasak villamos hajtású járművek akkumulátorházainak gyártására, de arra törekszik, hogy ez a kötési technológia egyre kisebb méretű termékekhez is alkalmazható legyen, és ki tudja elégíteni a villamos és elektronikus ipar miniaturizálásra vonatkozó igényeit. A lézeres hegesztés ugyanis egyre terjed, mert bonyolult formájú termékekhez is alkalmazható, emellett költségtakarékos és környezetbarát eljárás. A cég 2019-ben lézersugár számára átlátszó három új (LT jelzésű, laser-transparent) típusal bővítette *Durethan* márkanévű poliamidjait és *Pocan* márkanévű poli(butilén-tereftáljait), amelyeket villamos járművek hajtórendszerének kialakításához és IoT (Internet of Things, a dolgok internetje) eszközök gyártásához ajánl.

Az égésgátlók legtöbbször csökkentik a hőre lágyuló műanyagok lézeralátlátszóságát. Az új *Durethan BKV30FN04LT* halogénmentes égésgátlót tartalmazó és *UL V0* éghetőségi fokozatú PA6 kúszóáram-szilárdsága (*IEC 60112* szabvány CTI A eljárás szerint vizsgálva) 600 V, és a cég nagyfeszültségű akkumulátorházak és csatlakozódugók gyártására ajánlja.

A *Pocan B3233XHRLT* 30% üvegszálat tartalmazó PBT, amely meleg és nedves környezetben is alkalmazható. Az Amerikai Autóipari Mérnökök Egyesülete (SAE, American Society of Automotive Engineers) hosszú élettartamra vonatkozó vizsgálatai alapján megállapította, hogy a piacon ezen kívül nincs a lézersugár számára átlátszó műanyag, amely hasonló mértékben ellenállna a hidrolízisnek.

A *Pocan TP150-002* ugyancsak 30% üvegszálat tartalmazó PBT, amely a 938 nm hullámhosszú lézersugár 13%-át engedi, ami duplája a más PBT-k lézertesztranszparenségének.

A *PolyOne* (Avon, Ohio, USA) *Bergamid* márkanévű lézerrel hegeszthető PA66-ját az ázsiai piacon hozta forgalomba, és gépkocsielemekek, fogyasztási cikkek, orvosi eszközök gyártására ajánlja. Ebben a termékben szabályozható a lézersugár áthatolási sebessége, és sokféle színben kapható. A cég az új polimer bevezetéséhez és a gyártandó termék tervezéséhez partnereinek megfelelő segítséget ad.

Az *Akro Plastic* (Lawrence, Kansas, USA) ugyancsak forgalmaz lézerrel hegeszthető PA6, PA66 és PA616 polimereket, ezeket erősítő szál nélkül vagy akár 60% üvegszállal is gyártja. Lehetnek feketék vagy bármilyen más színűek. Az *Akromid C28 LGF 40 6 XTC LT* fekete színű és hosszú üvegszálakat tartalmaz. A PA66/6-ot az autógyártóknak ajánlja.

Lézerrel hegeszthető műanyagok az orvostechnika számára

A lézerhegesztés az autógyártás mellett az orvostechikában is terjed. A *Clariant AG* (Muttentz, Svájc) a 2019-ben Anaheimben (USA) rendezett orvostechikai kiállításon



2. ábra A *Clariant* orvosi eszközök lézeres hegesztéséhez kínált színes *Mevopur* ABS polimerjei között lézersugarat átteresztő és azt elnyelő típusok is vannak

(*Medical Design & Manufacturing West show*) mutatta be *Mevopur* márkanévű műanyagait, amelyeket elsősorban gyógyszeradagoló, diagnosztikai és dializáló eszközökhöz gyártásához ajánlja. A hegesztendő felületeket nem kell előkezelni, és ez a fajta hegesztés kizárja, hogy folyadék vagy ragasztóanyag kerüljön a határfelületre. A cég legújabb termékei között van többféle *Mevopur* kompaund és mesterkeverék, amelyeket sokféle színben gyártanak, közöttük lézersugarat átengedő és azt elnyelő változatok, amelyek egymással könnyen összehegeszthetők (2. ábra). Az orvosi eszközök gyártásában a lézerhegesztésnek számos előnye van, főképpen a gyorsaság és egyszerű kivitelezés. De alkalmazása csak akkor lesz sikeres, ha annak feltételeit már a termék tervezésének kezdeti szakaszában figyelembe veszik, mert a műanyag, a színezék, a forma és a gyártási technológia kiválasztása erősen meghatározza a végeredményt. A színezék jelentősen befolyásolhatja a polimeren áthatoló lézersugár energiáját, azaz a réteg átlátszóságát, továbbá a lézersugár elnyelő

polimer olvadáspontját, amelynek pontos hőmérséklete alapvetően fontos a hibátlan hegesztéshez. Gyakori hiba, hogy a színezéket csak a tervezés utolsó fázisában választják ki, mert nincsenek tisztában annak hatásával; vagy olyanok döntenek el, hogy milyen színű legyen a polimer, akik nem is vettek részt a tervezésben. Ha pl. lézersugár számára áthatolható réteget feketére vagy sötét színűre színezik, és kormot használnak ehhez, az áthatolást erősen korlátozzák. Hasonlóan viselkedik az emberi szem számára átlátszatlan fehér réteg is, ha abba a leggyakrabban alkalmazott fehér pigmentet, titán-dioxidot kevernek.

A *Clariant* cég számos olyan pigmentet alkalmaz, amely nem zavarja a lézersugár áthatolását a polimereken, közöttük a PP, PC, PC/ABS és más polimereken. A cég szoros kapcsos-

latot tart a lézerhegesztés eszközeinek gyártóival, és analitikai vizsgálatokkal segíti őket abban, hogy egy adott feladathoz megtalálják az optimális anyagokat.

Megoldások a hegesztésre, ha mindkét polimer áttereszti a lézersugarat

Lézersugárral csak akkor lehet hegeszteni, ha az adott frekvenciájú sugár az egyik rétegen az át tud haladni jelentős energiavesztés nélkül, a másikban viszont elnyelődik, és olvadáspontig felmelegíti a polimert. A gyakorlatban azonban előfordul, hogy a mindkét összehesztendő elem átlátszó a lézersugár számára. Erre nem csak az anyaggyártók, hanem a hegesztőberendezések gyártói is kínálnak megoldást.

Az Emerson céghez tartozó Branson Ultrasonic cég (Brookfield, Connecticut, USA), amely műanyagok hegesztéshez különböző hegesztőberendezéseket gyárt, infravörös lézerhegesztési technológiáját a Sono-Tek céggel (Milton, New York állam, USA) együttműködve társította annak ultrahangos felületkezelő technológiájával. A Sono-Tek ultrahangos szórással lézersugarat elnyelő mikrorészecskéket tartalmazó festéket vagy kormot tartalmazó alacsony forráspontú folyadékot visz fel a második hegesztendő elem felületére, ahol a lézersugár elnyelődik, a felület ettől felmelegszik, meglágyul. majd kellő nyomás alatt összeheged az első hegesztendő elemmel. Az ultrahang atomizálja a festéket, amely nanométeres vastagságban kerül el a kívánt felületen. A részecskéket mozgó folyadék még a hegesztés megkezdése előtt elpárolog. A szórással felvitt rétegre a lézersugarat nem kell olyan pontosan fókuszálni, mint a tömegükben energiaelnyelő polimerek hegesztésekor, mert a két elem csak ott heged össze, ahova a lézersugár elnyelő festéket felvitték.

Ez a technika rendkívül hasznos az olyan orvosi eszközök alkalmazásakor, amelyekben optikailag átlátszó folyási utakat kell kialakítani. Ezek egyszerűbbé teszik pl. a vérsejtek automatikus számlálását egy kapillárisban áramló mikromennyiségű vérben, ami egy asszisztens számára igencsak kemény feladat. A lézertechnikával nagyon jó minőségű lencsákat, folyadékokat kezelő eszközöket és más fontos eszközökhöz használt elemeket lehet előállítani.

A Branson/Sono-Tek fejlesztése a *Clearweld* eljárásokhoz (Clearweld process) kapcsolódik. 1998-ban az Egyesült Királyságban (UK) indították meg a *TWI (Training Within Industry, Képzés az iparon belül)* programot, amely az anyagok közötti kötéseket fejlesztő ipari kutatást támogatja. A Clearweld program keretében számos világszabadalommal védett eljárás született. Ezek tulajdonosa a Gentex Corp., (Carbondale, Illinois, USA), amelytől az eljárások alkalmazási jogát meg lehet vásárolni.

Növekedő kapacitások

A Dukane IAS LLC (St. Charles, Illinois, USA) a műanyagok lézeres hegesztőberendezéseinek a világon egyik vezető gyártója. A közelmúltban megvásárolta a Blackhawk Technology Csoportot (Aumsville, Oregon, USA), amely különféle szolgáltatást kínál a lézerhegesztést alkalmazóknak: segít kiválasztani a megfelelő rendszert, vállalja a szervizelést és lebonyolítja a szerződéskötéseket.

A Dukane *LaserlinQ* technológiájával lézersugár számára két átlátszó polimert mindenféle adalék nélkül, egy mindössze 2 µm vastag fényelnyelő réteg felvitelével össze lehet he-

geszteni. Jelenleg azon dolgoznak, hogy ezt 1 µm-es réteggel is meg tudják oldani. Ebben számítanak a Blackhawk közreműködésére.

Az LPKF Laser & Electronics AG (Garbsen, Németország) a 2019-es düsseldorfi vásáron a műanyagok lézerhegesztésének sokféle alkalmazási lehetőségét mutatta be. Voltak közöttük egészen kicsi és egészen nagy darabok. Az apró darabokon a hegesztési varrat hossza gyakran nem volt hosszabb, mint néhány tized milliméter.

A cég a vásáron mutatta be *InlineWeld 2000* márkanevű gépét, amellyel elforgatható vagy nem elforgatható elemeket lehet egymással összekötni. *InlineWeld 6600* márkájú univerzálisan alkalmazható hegesztőrendszerét azoknak ajánlotta, akik költségtakarékosan akarnak jó minőségű terméket gyártani. *PowerWeld 3D 8000* típusú gépe nagyméretű háromdimenziós elemek, pl. gépkocsik hátsó jelzőlámpáinak hegesztésére alkalmas.

A cég valamennyi lézerhegesztő rendszerének alkalmazásakor szavatolja a magas minőséget és a nagy hegesztési szilárdságot. A gépeket irányító szoftver CAD adatok alapján működik; kiszámítja a hegesztés optimális kontúrját, ezt az információt közvetlenül a gép vezérlőrendszerébe irányítja, a gép ezért könnyen irányítható és gyorsan dolgozik. A szoftvercsomag a kontúr kijelölésétől a hegesztés befejezéséig teljesen automatikusan vezeti végig a folyamatot.

Lézerstrukturálással készített erős és tartós kötések üveg és műanyagok között

Az üveg és műanyagok közötti megbízható, erős és tartós kötéseknek fontos szerepe van olyan termékek gyártásakor, amelyeknek valamely eleme átlátszó, de formája gyakran



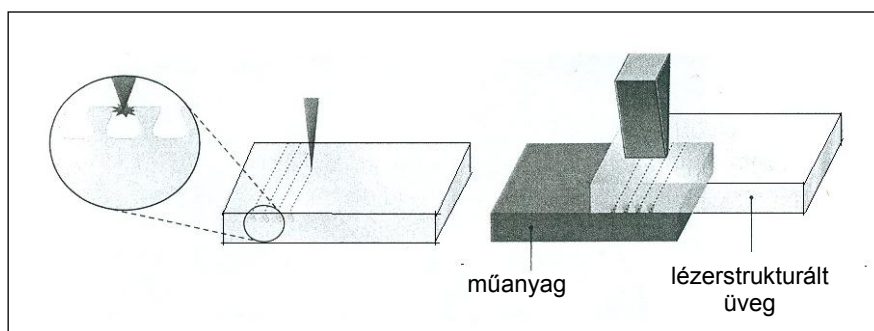
3. ábra A Hella cég lézerhegesztéssel gyártott *BI-Xenon* márkanevű gépkocsireflektora

meglehetősen komplikált. Ilyenek pl. a gépkocsik reflektorai (3. ábra) vagy az érintőernyős kijelzők. A két anyagfajta tulajdonságai meglehetősen különböznek, az üveg csak korlátozottan formázható, a műanyag viszont mérsékelt hőálló és könnyen karcolódik. Megfelelő műanyagokkal és üveggel azonban a kétféle anyag jól társítható.

A két anyag közötti kötéshez legtöbbször ragasztót vagy tapadást növelő anyagot használnak. A szerkezetben alkalmazott anyagok hőtágulását össze kell hangolni, mert magasabb hőmérsékleten az eltérő méretváltozás nagy mechanikai feszültséget vált ki, és a szerkezet meghibásodását okozhatja. A tapadást javító készítmények emellett legtöbbször csak gyengén teríthetők el az üveg felületén, a ragasztók élettartama pedig nem mindig felel meg az elvárásoknak.

A Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT (Aachen, Németország) egyik kutatási témája a *HyTraM* projekt keretében az átlátszó üveg és a különböző műanyagok közötti tartós kö-

tés megoldása. Ebben három ipari vállalat is részt vesz. Egy olyan két lépcsős hibrid eljárásról dolgoznak, amelynek első lépésében lézersugárral az üveg felületén mikro- vagy nanoméretű struktúrát alakítanak ki. A strukturálást nagy sebességű CO₂-lézerrel végzik, a felületbe mart mikromélyedések kb. 1 mm-es távolságban követik egymást az általában 3 mm vastag üvegen. Amikor a lézersugár eléri az üveg felületét, az anyag elpárolog, és a lemart apró részecskék sárgára festik a szűrőlángot. A második lépésben az üveggel összekötendő műanyagot túliumszálas lézerrel melegítik fel, és viszonylag nagy erővel az üvegfelületre nyomják. Ettől a műanyag behatol a struktúra mélyedéseibe, ott megdermedve erős és tartós kötés alakul ki a két anyag között (4. ábra). Az eljárás nagy előnye, hogy az egész folyamat érintésmentes, és semmiféle segédanyagot nem igényel. Emellett az alkalmazott energia jól szabályozható, ami rendkívül pontos és megismételhetővé teszi a felületi mintázatot. Nem elhanyagolható előny továbbá, hogy az eljárás könnyen automatizálható.



4. ábra Két lépcsős eljárás az üveg és a műanyag erős és tartós kötésének kialakítására. Balra: az üveg CO₂ lézerrel végzett strukturálása; jobbra a túliumszálas lézerrel felmelegített műanyag besajtolása a mikro- vagy nanoméretű mélyedésekbe

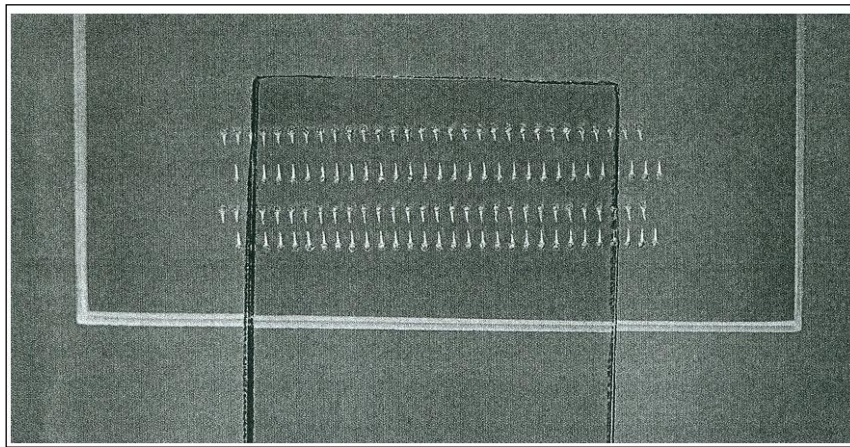
A meghatározott szögben beállított lézersugárral az üvegben hátrametszékes elemeket lehet kialakítani, amelyekben a beljük dermedt műanyag igen nagy kötési szilárdságot eredményez. A galvanometriás meghajtású letapogató tükörrel az üveg strukturálása elérheti a több m/s sebességet. Az elemek mélysége és egymás melletti távolsága attól függ, hogy hány-szor vezetik azt végig a kijelölt felületen, és hogy milyen sebességgel vezetik azt. A kötés erőssége függ attól is, hogy hány struktúrvonalat visznek fel az üvegre. Ehhez célszerű előzetes próbákat végezni, ami néhány másodpercet igényel. Ügyelni kell arra, hogy közben az üveg ne melegedjen fel; a túl közeli struktúrelemek az üvegben feszültséget gerjeszhetnek, ami az termékben repedéseket indíthat el.

A CO₂ lézerrel szemben az ultraröviden pulzáló (UKP) lézerforrással ez a veszély elkerülhető. Egy erősen fókuszált lézersugárral, amelynek pulzusedeje 15 ps ($15 \cdot 10^{-12}$ s) lokálisan el lehet érni a $>10^{13}$ W/cm² intenzitásúcsot, amely az üveget biztosan lemarja, de a rövid pulzusedeje és a szublimáció miatt az egyáltalán nem melegszik fel, ezért az ilyen eljárást „hideg marásnak” is nevezik. Az anyagban nem képződnek mikrorepedések, és nem kell tartani attól, hogy fűrészkor a termék eltörik. Az UKP lézer további előnye az eljárás rendkívüli precizitása. A lézersugár minden egyes áthaladásakor kb. 1 µm-es réteget távolít el, ezért nagyon könnyen lehet a felületen tetszés szerinti mélyedéseket kialakítani.

Az eljárást a projekt keretében a kutatók folyamatosan tovább fejlesztik, és egyre jobb reprodukálhatóságot érnek el. A CO₂ lézerrel végzett strukturálással szemben azonban az UKP lézer egy pulzusa alatt eltávolított vékonyabb réteg miatt az üvegfelület strukturálása 20-30 másodperccel hosszabbá válik.

Az üvegfelület strukturálása után következő lépésben az üveget és a műanyagot egyesítik. A műanyag megolvasztásához túliumszálás lézert alkalmaznak, amelynek emissziós hullámhossza 1940 nm, amit a legtöbb műszaki műanyag el tud nyelni.

Az üvegből és műanyagból készített termékek között gyakoriak az orvostechika és a biotechnikai eszközei, pl. a mikrofluidos csipszek. Ilyenkor a műanyagot a strukturált üveg alatt pneumatikusan hajtott befogószerkezetbe helyezik, és nagy erővel összenyomják őket. A túliumszálás lézersugár áthatol az üvegen, és nagy felületen megolvasztja a műanyagot, amely behatol a struktúrelemekbe és kitölti azokat. Megdermedés után az itt kialakuló adhézió stabil és hosszú élettartamot ad terméknek.

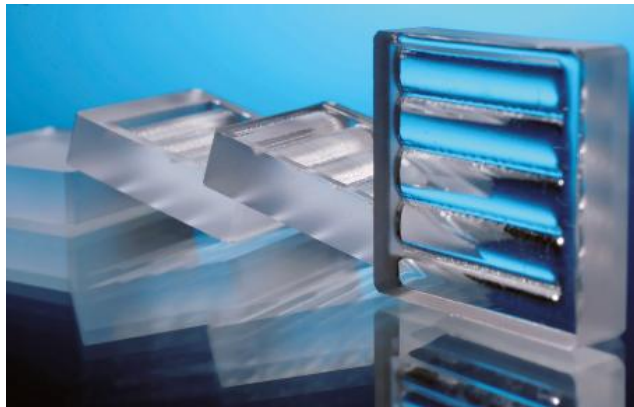


5. ábra Egy strukturált üveglap és egy átlátszó polikarbonát lemez lézeres összeépítés után. Az összeépítés helye és az üveg struktúrája szabad szemmel nem észlelhető

Az 5. ábra a kutatók egyik próbadarabját mutatja, amelyben egy átlátszó strukturált üveglapot egy átlátszó polikarbonát lemezzel építettek össze. A műanyagot az üveg strukturált 10x20 mm-es felülete felett kezelték lézersugárral. Mivel mindkét lemez teljesen átlátszó, szabad szemmel nem is volt látható, hogy hol olvadt meg a műanyag, és hol alakult ki a két elemet összetartó felület. A kutatók jóval összetettebb formadarabokat is készítettek ezzel a technológiával (6. ábra).

A kötés mechanikai szilárdsága a műanyag mechanikai tulajdonságai mellett az üvegre felvitt mintázat sűrűségétől és irányultságától függ. Ha a mintázat sűrűbb, növekszik a kötés erőssége, de a sűrűbb struktúrelemek egyúttal több hibahelyet jelentenek, mert vékonyabb lesz a maradék anyag, ami viszont negatívan hat a kötési erőre. Az üveg megmunkálásakor pedig a besugárzás irányához viszonyított állásszöggel hátrametszéseket lehet a struktúrában létrehozni. (Állásszög: az aerodinamikában azt a szöveget jelenti, amelyet egy áramlásba helyezett testen kijelölt referenciavonal és a körülötte áramló közeg e testhez viszonyított sebesség-

gének iránya bezár.) A terheléssel ellentétes irányú hátrametszések a felületi struktúrában az üveg/műanyag kötésekben ellenállnak a nyíró és húzó igénybevételnek.



6. ábra A kutatók néhány bonyolultabb felépítésű, üvegből és műanyagból összeépített darabjai

A kutatók a továbbiakban egy olyan demonstrációs építőelemet akarnak előállítani, amelyen ipari közegben mutathatják be az új kötési eljárást. Az eljárás elterjedéséhez a felület strukturálási sebességét a jelenlegi $60 \text{ cm}^2/\text{min}$ -ről növelni kell, és ki kell dolgozni a mikrostruktúra kitöltésének szimulációs programját. A szimuláció a *Cadmould* szoftver segítségével már ma is lehetséges, de az előjelzések pontosságát az ipari alkalmazás érdekében tovább kell javítani.

Összeállította: Pál Károlyné

Mapleston, P.: Join together: options for welding moulded parts = *Injection World*, 2020. május, p. 31, 32, 33, 36, 38. www.injectionworld.com

Industrial Laser Solutions Editors: Partnership to create laser welding solutions for electric vehicle battery enclosures = <https://www.industrial-lasers.com/welding/article/16490550/-partnership-to-create-laser-welding-solutions-for-electric-vehicle-battery-enclosures>

NS Packaging Staff Writer: Clariant launches new medical-grade ABS polymers, 2020. 03. 26. = <https://www.nspackaging.com/news/clariant-medical-grade-polymers/>

Nam-PhongNguyen; Schnabel, J.: Glas und Kunststoff vereint = *Kunststoffe*, 2020. 8. sz. p. 39–41.

DM Autoteile: Original Hella BI-Xenon Scheinwerfer Rechts passend für Mercedes E-Klasse W212 E212 09-13 = <https://www.dm-autoteile.de/Original-Hella-BI-Xenon-Scheinwerfer-Rechts-passend-fuer-Mercedes-E-Klasse-W212-E212-09-13>

Laserpolieren von Glas und Kunststoff – Broschüre – Fraunhofer Ilt = <https://www.ilt-fraunhofer.de/de/mediathek/prospekte/themenbroschuere-polieren.html>