



Femtosekundumos lézerrel végzett felületkezelés hatásai pultrúzióval gyártott üvegszállal erősített kompozitokon

Effects of Femtosecond Laser Surface Treatment on Glass Fiber Reinforced Composites Produced by Pultrusion

Vaczko Dániel,¹ Weltsch Zoltán,² Keresztes Róbert³

¹ Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék. Kecskemét, Magyarország, vaczko.daniel@nje.hu

² Széchenyi István Egyetem, Zalaegerszegi Innovációs Park, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék. Győr, Magyarország, weltsch.zoltan@sze.hu

³ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet. Gödöllő, Magyarország, keresztes.robert.zsolt@uni-mate.hu

Abstract

In this study, we evaluated the effectiveness of laser surface treatment on flat, glass fiber-reinforced profiles produced by pultrusion. The experiments used a Coherent Monaco 1035-80-60 femtosecond laser, where the main parameter was laser power. The treated samples were examined with an Olympus OLS5000 confocal microscope, measuring the depth and area of the grooves created by the laser beam. The data were plotted as a function of power. Our results show that the increase in depth is not proportional to power, while there is a close correlation between changes in depth and area. These findings shed new light on the potential industrial applications of laser surface treatment for pultrusion-manufactured glass fiber-reinforced profiles, particularly concerning surfaces prepared for bonding.

Keywords: laser surface treatment, femtosecond laser, pultrusion, bonding technology, glass fiber.

Összefoglalás

Ebben a tanulmányban a pultrúzióval előállított, üvegszálas, lapos profilokon a lézeres felületkezelés hatékonyságát értékeltük. A kísérletekben Coherent Monaco 1035-80-60 femtosekundumos lézert használtunk, ahol a fő paraméter a lézer teljesítménye volt. Az így kezelt próbadarabokat Olympus OLS5000 konfokális mikroszkópon vizsgáltuk meg, ahol a lézernyaláb által kialakított árkok mélységét és területét mértük. Az adatokat a teljesítmény függvényében grafikonon ábrázoltuk. Eredményeink azt mutatják, hogy a mélység növekedése nem arányos a teljesítménnyel, míg a mélység és terület változása között szoros összefüggés figyelhető meg. Ezek az eredmények új megvilágításba helyezik a pultrúzióval előállított üvegszálas profilok lézeres felületkezelésének potenciális ipari alkalmazásait, különösen a ragasztásra előkészített felületek szempontjából.

Kulcsszavak: lézeres felületkezelés, femtosekundumos lézer, pultrúzió, kötéstechológia, üvegszál.

1. Bevezetés

A pultrúzió egy folyamatos gyártási folyamat, amelyet különösen az üvegszál-erősítésű műanyagok előállítására használnak. Ebben az eljárásban a szálerősítő anyagokat, mint például

ul üvegszálakat, először gyantakádon vezetik át, majd ezeket egy hosszú, fűtött szerszámon keresztül húzzák, ahol a műgyanta polimerizálódik, így létrehozva a kívánt profilú, hosszú és merev kompozit elemeket. A pultrúzió lehetővé teszi a nagy szilárdságú és korrózióálló kompozit szerkezeti

elemek gyors és költséghatékony előállítását [1]. A folyamat az **1. ábrán** látható.

Az üvegszál-erősítésű műanyagok kiterjedt használata az iparban, különösen a járműgyártásban és az építőiparban, nagy szilárdságuk és korrózióállóságuk miatt előnyös. Azonban az üvegszál-erősítésű műanyagok gyenge felületi energiája korlátozza ragasztási tulajdonságaikat, ami kihívásokat jelent a kötéstechológiák számára, különösen a ragasztás és laminálás területén [2].

A femtoszekundumos lézer rövid lézerimpulzusokat használ, és lehetővé teszi a felületek mikroszerkezetének módosítását anélkül, hogy az alapanyagot termikusan károsítaná. Ez a felületkezelési eljárás különösen előnyös a műanyagfelületek előkészítésére, mivel javítja a felületi feszültséget és ezáltal a kötések minőségét [3].

Banks és munkatársai kutatásukban bemutatják, hogy a femtoszekundumos lézerek segítségével különösen hatékonyan lehet komplex, nagy precizitású metszéseket és furatokat készíteni különböző anyagokban, anélkül, hogy a környező anyagban károsodást okoznának. Az ilyen jellegű munkálatok során a lézerimpulzusok olyan pontosan irányíthatók, hogy a maradék anyag strukturális integritása teljesen sértetlen marad, ami kritikus jelentőségű bizonyos ipari alkalmazásoknál [4].

A tanulmány célja a Coherent Monaco 1035-80-60 femtoszekundumos lézerrel végzett felületkezelések hatásának vizsgálata a pultrúzióval előállított profilokon, különösen a kötés anyagtulajdonságai, mint a kötésszilárdság és a felületi energia javítása szempontjából. Az eredmények rávilágítanak a femtoszekundumos lézerek ipari alkalmazásának lehetőségeire a kompozit anyagok felületkezelésében.

2. Kísérletek

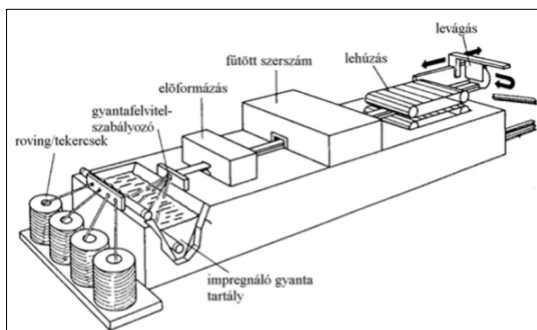
2.1. Felületkezelés és minta-előkészítés

A kutatás során pultrúzióval előállított, üvegszál-erősítésű műanyag lapos profilokat használtunk, melyek összetétele a következő volt: üvegtartalom 64%, Barcol keménység 48, alumínium-trihidrát (ATH) 21,8%, és az alapgyanta ISO NPG. A minták előkészítése magában foglalta a méretre vágást és a felületek tisztítását metanollal a kezelés előtt, hogy eltávolítsuk a felületi szennyeződések. A felületkezelést Coherent Monaco 1035-80-60 femtoszekundumos lézerrel végeztük (**2. ábra**), ahol a változó a teljesítmény volt. A többi változó értékei: többi impulzusidő 277 fs, impulzusfrekvencia 750 kHz, haladási sebesség 1 m/s. A lézer teljesítménye 10%-tól 100%-ig 10%-os lépcsőkben volt állítva. A teljesítmény változtatásával különböző mintákat állítottunk elő, melyeket később konfokális mikroszkóppal vizsgáltunk.

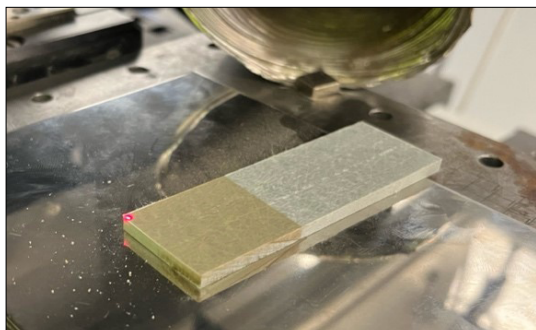
2.2. Mikroszkópos elemzés

A lézeres kezelés hatásainak vizsgálatára a minták felületi struktúráját Olympus OLS5000 konfokális mikroszkóppal elemeztük, 20×-os nagyítású objektívet használva a részletesebb felületi struktúra vizsgálatához (**3. ábra**). A mikroszkópos vizsgálatok klimatizált helyiségben történtek, hogy biztosítsuk a környezeti változások minimális hatását a mintákra és a mérések pontosságát.

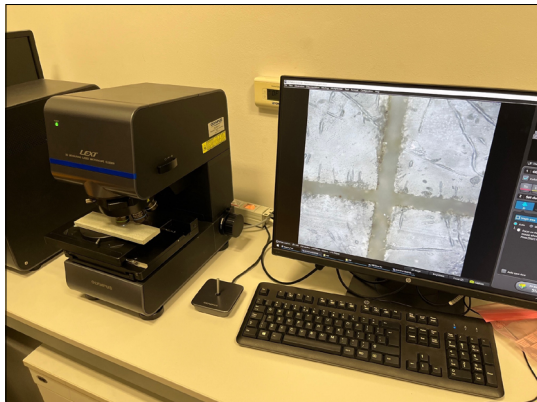
Az adatgyűjtés és az elemzés a mikroszkóp saját szoftverével történt, ami lehetővé tette a mért adatok pontos és megbízható kiértékelését. A mérések során a lézernyaláb által létrehozott árok mélységét és területét mértük. A szoftver 3D-s topográfiát tud létrehozni (**4. ábra**). A képen minimális zajok is előfordulhatnak, melyek tüskék formájában jelennek meg; ezeket zajsűrűséssel



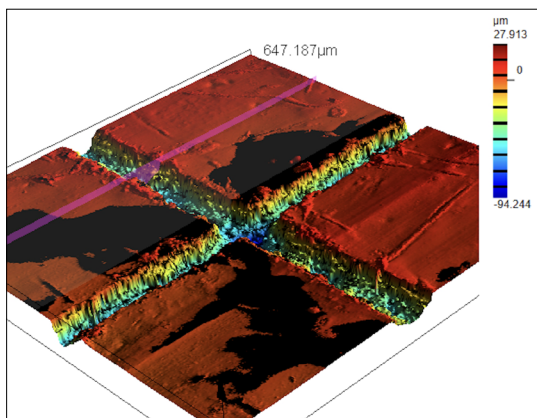
1. ábra. A pultrúzió folyamata [5]



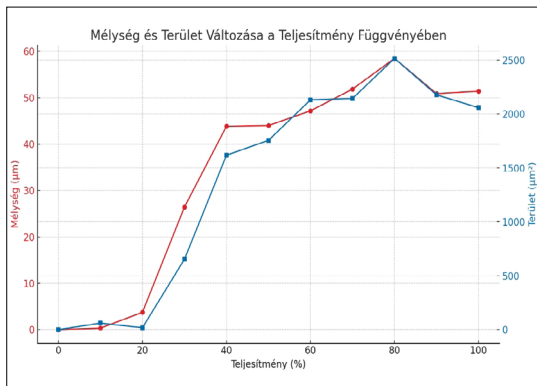
2. ábra. Felületkezelés femtoszekundumos lézerrel



3. ábra. Olympus OLS5000 mikroszkóp



4. ábra. 3D-s topográfia, színekkel jelölve a mélységek



5. ábra. A mélység és terület változása a teljesítmény függvényében

csökkentettük. A mélység és terület méréséhez szükség volt az árok metszeti képének létrehozására, ehhez az árok egy 300 μm -es szakaszának átlagolt méreteit vettük figyelembe.

3. Eredmények

A vizsgálat során a Coherent Monaco 1035-80-60 femtoszekundumos lézerrel kezelt műanyag profilok mikroszkópos elemzése fontos információkat nyújtott a lézer teljesítményének felületi struktúrára gyakorolt hatásáról.

A grafikonon látható, hogy a mélység és a terület jelentős mértékben nő a lézer teljesítményének növekedésével. A lézer teljesítményének 10%-os szintjén az árok mélysége körülbelül 10 μm volt, míg a terület körülbelül 1000 μm^2 . Amint a teljesítmény 100%-ra nőtt, az árok mélysége megközelítette a 60 μm -t, és a terület meghaladta a 2500 μm^2 -t.

A 0–20% tartományban a lézer teljesítménye túl alacsony ahhoz, hogy jelentős változásokat hozzon létre, ezért a mélység és a terület alacsony marad. A 20–40% tartományban a teljesítmény növekedésével a mélység és a terület gyorsan növekszik, mivel a lézer elegendő energiát biztosít a felületi struktúra módosításához. A 40–50% tartományban a növekedés üteme lelassul, jelezve, hogy a lézer teljesítménye közel van a maximális hatékonysághoz. Azonban a 80–100% tartományban a növekedés ismét lelassul, és enyhe csökkenés is megfigyelhető, valószínűleg a gyanta részleges megolvadása miatt, ami visszafolyik a mikroárokba, csökkentve azok mélységét és területét.

A kapott adatok alapján grafikont készítettünk, amely ábrázolja az árok mélységének és területének változásait a lézer teljesítményének függvényében. Ez a grafikon egyértelműen mutatja a változást a teljesítmény növekedése és az árok mérete között (5. ábra).

4. Következtetések

A kutatás során elvégzett mikroszkópos elemzések és a kapott adatok alapos kiértékelése lehetővé tette, hogy átfogó képet kapjunk a femtoszekundumos lézer alkalmazásának hatásairól a pultrúzióval előállított, üvegszál-erősítéssel műanyag profilok felületkezelésére. Az eredmények egyértelműen kimutatták, hogy a lézer teljesítményének növelése arányosan növeli a mikroárok mélységét és területét a GFRP-felületeken, ami jelentős befolyást gyakorol a felületi morfológiára.

A grafikon elemzése alapján a mélység és a terület változása a teljesítmény növekedésével nem egyszerű lineáris vagy exponenciális trendet követ, hanem különböző szakaszokban eltérő miniatúrat mutat. Az alacsony teljesítményű tartományban a növekedés minimális, majd közepes

teljesítménynél gyors növekedés figyelhető meg, míg a magas teljesítményű tartományban a növekedés lelassul, és néha csökkenés is előfordul. Ez az összefüggés alátámasztja a lézeres kezelés alkalmazhatóságát a műanyagfelületek tulajdonságainak célzott módosítására.

A mikroszkópos vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a nagyobb teljesítménnyel végzett felületkezelés egyenletesebb mikrostruktúrát eredményez, ami kedvezőbb lehet a ragasztási folyamatok szempontjából. Az egyenletes mikrostruktúra növelheti az adhéziót, ami elősegítheti a jobb kötőszilárdság elérését.

A nagy teljesítményszinten létrejövő olvadék miatt a későbbiekben érdemes lesz megvizsgálni, hogy optimális beállítások esetén, de többszöri kezelésre hogyan reagál az alapanyag.

A tanulmány eredményei hozzájárulhatnak a műanyagok ipari feldolgozásának fejlesztéséhez, különösen olyan területeken, ahol a felületi tulajdonságok, mint a ragaszthatóság és a mechanikai tartósság, kulcsfontosságúak.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatás a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00052 számú pályázat támogatásával jött

létre. A projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által meghirdetett pályázat keretében valósult meg.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Fairuz A. M. et al.: *Polymer composite manufacturing using a pultrusion process: A review*. American Journal of Applied Sciences, 11/10. (2014) 1798–1810.
<https://doi.org/10.3844/ajassp.2014.1798.1810>.
- [2] Gattass R. R., Mazur E.: *Femtosecond laser micromachining in transparent materials*. Nature photonics, 2/4. (2008) 219–225.
<https://doi.org/10.1038/nphoton.2008.47>
- [3] Sugioka K. et al.: *Femtosecond laser 3D micromachining: a powerful tool for the fabrication of microfluidic, optofluidic, and electrofluidic devices based on glass*. Lab on a Chip, 14/18. (2014) 3447–3458.
<https://doi.org/10.1039/C4LC00548A>
- [4] Banks Paul Stuart et al.: *Femtosecond laser materials processing*. Commercial and Biomedical Applications of Ultrafast Lasers II. Vol. 3934. SPIE, 2000.
<https://doi.org/10.1117/12.386356>
- [5] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: *A polimertechnika alapjai*. Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000.