

ÜVEG MEGMUNKÁLÁSA FEMTOSZEKUNDUMOS IMPULZUS LÉZERREL

GLASS MACHINING WITH FEMTOSECOND PULSED LASERS

Juhász Gergely ^{1,2*} ORCID: 0000-0002-3412-0137, Bogdán Roland ² ORCID: 0000-0003-4271-9841

¹ Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

² Gyártásfejlesztési osztály, Gyártási Divízió, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2023.1.ENG.002>

Kulcsszavak:

lézer
makromegmunkálás
üveg
femtosedkundumos lézer

Keywords:

laser
macromachining
glass
femtosecond laser

Cikktörténet:

Beérkezett 2022. október 10.
Átdolgozva 2022. október 31.
Elfogadva 2022. november 5.

Összefoglalás

Az utóbbi évtizedek technológiai fejlődésével az üveg az egyik legfontosabb műszaki anyaggá vált az építészeti, orvosi, autópári és elektronikai alkalmazásokban. Az üveg megmunkálására számos hagyományos mechanikus technológia áll a rendelkezésre, melyeknek korlátjai vannak. A lézersugaras technológiáknak számos előnye van a hagyományos mechanikus megmunkálásokkal szemben, mint például az érintés mentes, gyors és automatizálható megmunkálás. A cikkben a Neumann János Egyetem Dióda Lézerközpontjában található femtoszekundumos lézerrel végzünk kísérleteket boroszilikát 3.3 üveg megmunkálására.

Abstract

With the technological advances of recent decades, glass has become one of the most important engineering materials for architectural, medical, automotive and electronic applications. There are several traditional mechanical technologies for processing glass, but these have their limitations. Laser technologies have several advantages over traditional mechanical machining, such as non-contact, fast and automated machining. In this article, experiments are carried out with a femtosecond laser at the Diode Laser Centre at John von Neumann University to machine borosilicate glass 3.3.

1. Bevezetés

Az üveg fontos műszaki anyag, amely kiváló optikai, elektromos és kémiai tulajdonságokkal rendelkezik. Széles körben használják a kijelzők [1], az optika [2] vagy az optoelektronika [3] területén kulcsfontosságú alkatrészek alapanyagaként, és az orvosi biológiai technikában [4] is megtalálhatók az alkalmazásai. A lézernyaláb nagyon vonzó eszköznek számít az üvegfeldolgozásban. A lézeres megmunkálás egyik fő előnye az érintkezésmentes jelleg, ami nagyban segíti a rideg és kemény anyagok megmunkálását. Ez lehetővé teszi az üveg megmunkálását, amely a hagyományos, mechanikus szerszámokkal végzett technikákhoz képest kevés hibával jár. Az üveg lézersugárral történő megmunkálása nagy pontosságot is garantálhat az

* Kapcsolattartó szerző.
E-mail cím: juhasz.gergely@gamf.uni-neumann.hu

anyagveszteség és a véletlenszerű repedések minimalizálásával. Ezenkívül a lézernyalábbal történő üvegmegmunkálás általában tisztára vágott éleket eredményez, ezért nem igényel utókezelést, ami időt és költséget takarít meg [5].

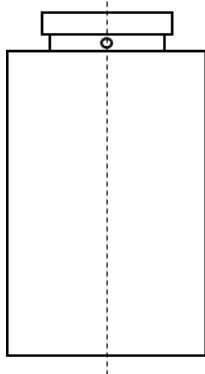
A rövid impulzus időtartamú lézerberendezések lehetővé teszik az üveg gyors és pontos megmunkálását. Az ilyen lézerberendezéssel történő megmunkálás kisebb hővel jár és így a megmunkált terület környéki hőérintett zóna is minimális. Ez a rövid impulzus időtartamból következik, mivel teljesen más fizikai folyamatok játszódnak le, mint a folyamatos üzemű lézernyalábbal történő megmunkálás során. Ilyen fizikai jelenség például a szabadelektron sokszorozó hatás és a többfotonos elnyelődés. Az ultrarövid impulzus időtartamú lézerrezonátorok legtöbbször szilárdtest médiumúak, így a keletkezett lézernyaláb az infravörös elektromágneses spektrumba esik. A többfotonos abszorpció lehetővé teszi az üveg infravörös elektromágneses sugárzással történő megmunkálását, így a femtoszekundumos impulzus lézerek képesek az üvegek ablációjára [6 - 10].

2. Módszer

2.1. Felhasznált anyagok és berendezések

2.1.1. Boroszilikát 3.3 anyagú üvegfiole

A kísérlet során egy laboratóriumi üvegfiolet használtunk, melynek anyaga Boroszilikát 3.3 üveg. A célunk furatok készítése az üvegfiole nyakára 2 mm-es átmérőben. Az üvegfiole sematikus vázolata az 1. Ábrán látható.

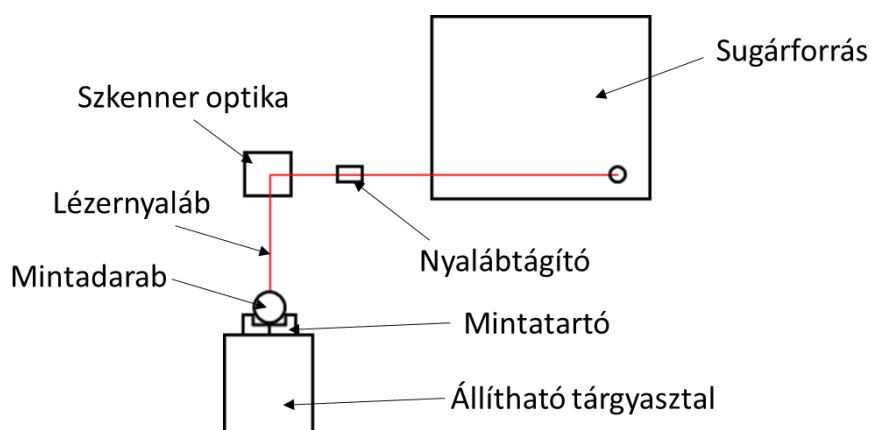


1. Ábra A mintadarab sematikus vázolata

A boroszilikát 3.3 fontosabb jellemzői a vegyszerállóság, a hosszú élettartam (akár 100 °C feletti üzemi hőfok felett is), viszont nem áll ellen a nagy koncentrációjú folyóvíz-savnak, foszforsavnak vagy erős alkáli vegyületeknek. A boroszilikát üvegek szilícium-dioxidból készülnek, azonban kis mennyiségben tartalmaznak bórt és alumíniumot is. Rendkívül jó a mechanikai szilárdsága és jóval nagyobb feszültséget képes elviselni, mint a hagyományos üveg. Hőtágulási együtthatója kicsi, ennek köszönhetően a nagyobb hőingadozást is képes elviselni, ami segíti a lézernyalábbal történő megmunkálását.

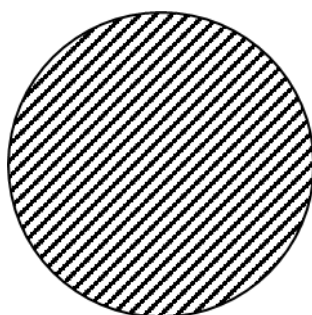
2.1.2. Coherent Monaco femtoszekundumos impulzus lézer

A Neumann János Egyetem Dióda Lézerközpontjában található Coherent Monaco femtoszekundumos lézerberendezés átlag teljesítménye 60 W, egy impulzusa 80 μ J energiával rendelkezik és a nyaláb hullámhossza 1035 ± 5 nm. Az lézernyaláb módusa TEM₀₀, amely Gauss intenzitáseloszlást jelent. A sugárforrásból kilépő lézernyaláb saroktükrök segítségével jut el egy ScanLab pásztázó fejig, mely egy F-theta lencsével van felszerelve. A kísérletek 750 kHz-es impulzus ismétlési frekvenciával és 277 fs impulzus időtartammal készültek. A kísérleti összeállítás a 2. Ábrán látható.



2. Ábra A kísérleti elrendezés sematikus vázlata

A megmunkálásokat kör keresztmetszetű egyenes vonalakkal történő pásztázással végeztük, melynek sematikus vázlata a 3. Ábrán látható. Ezeket a pásztázásokat addig kell ismételni, amíg a furat el nem készül az üvegfóliára.



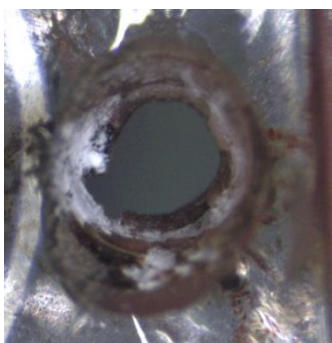
3. Ábra A kísérlet során alkalmazott pásztázás sematikus vázlata

A pásztázások közötti távolságot állandó értéken tartottuk, melynek értékét a fókuszált nyaláb derékátmérője adta. A kísérletek során a berendezés átlagteljesítményét, tehát az impulzusok energia értékét változtattuk.

3. Eredmények

Az eredmények kiértékelésére egy Zeiss SteREO Discovery V8 fénymikroszkópot használtunk, amely alkalmas a makrogeometriai jellemzők, mint például repedések vizsgálatára.

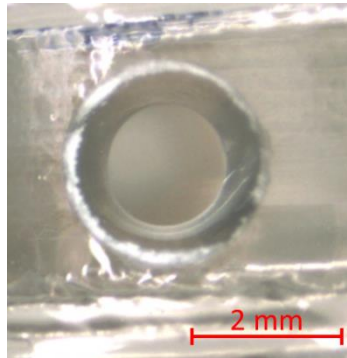
Az előkísérletek során először arra a következtetésekre jutottunk, hogy a megfelelő impulzusonkénti energia alkalmazása esetén sem tudunk repedésmentes furatot készíteni az üvegfólián (4. Ábra).



4. Ábra Az előkísérletek során elkészült furat felvétele

A képen látható, hogy az üveg elszíneződött. Ebből arra lehetett következtetni, hogy az üveg felmelegszik a megmunkálás alatt. A következő kísérletek során a pásztázások között

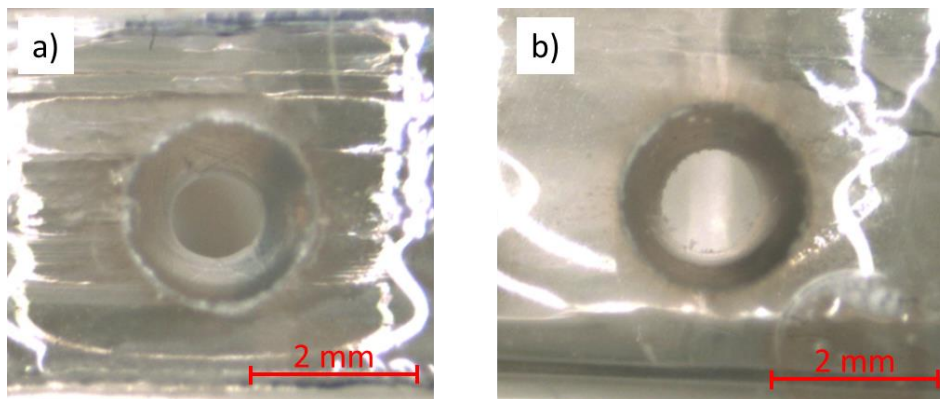
megmunkálási szünetet tartottunk annak érdekében, hogy az üveg ne repedjen meg. Az optimális várakozási idővel készült furat az 5. Ábrán látható.



5. Ábra Az optimális várakozási idővel készült furat felvételei

Az 5. Ábrán látható, hogy a furat kúpos és a szélén repedések futnak végig.

A kísérletek folytatásaként a furat méretet csökkentettük, mivel arra a következtetésre jutottunk, hogy egyszerre túl nagy területet munkálunk meg, ami az üvegben túl nagy feszültséget kelt. A végső kísérletek során először 1,5 mm-es furatot készítettünk, amelyet kibővítettünk a számunkra megfelelő átmérőre. Ennek eredménye a 6. Ábrán látható.



6. Ábra A megfelelő a) 1,5 mm átmérőjű, b) 2 mm átmérőjű furat mikroszkópos felvételei

A 6. Ábrán látható, hogy a kúpos furat nyílásszöge nagyobb a 1,5 mm-es átmérő esetén. Ennek oka, hogy a 2 mm átmérőjű furat készítésénél a teljesítményt tovább lehetett növelni anélkül, hogy az üvegben repedések keletkezzenek, ami javította a falferdeséget.

4. Összefoglalás

A Neumann János Egyetem Dióda Lézerközpontjában található Coherent Monaco femtoszekundumos lézerberendezéssel sikeres üveg megmunkálási kísérleteket hajtottunk végre. A kísérletek során először az üveg repedt, amelyet megfelelő megmunkálási stratégiákkal teljesen ki lehetett zárni. Az elkészült furatok kúposágát nem lehetett teljesen minimalizálni, amely a sugár karakterisztikájából adódhat. A falferdeség további csökkentésére további optikai elemeket kell alkalmazni, amelyek a nyalábot ilyen megmunkálásokra megfelelő geometriájúra formálják.

Irodalomjegyzék

- [1] K.R. Kim, J.H. Kim, D.F. Farson, H.W. Choi, K.H. Kim, Hybrid laser cutting for flat panel display glass, Jpn. J. Appl. Phys. 47 (2008) 6978–6981. DOI 10.1143/JJAP.47.6978
- [2] S.M. Eaton, H. Zhang, M.L. Ng, J. Li, W.J. Chen, S. Ho, P.R. Herman, Transition from thermal diffusion to heat accumulation in high repetition rate femtosecond laser writing of buried optical waveguides, Opt. Express 16 (2008) 9443–9458. <https://doi.org/10.1364/OE.16.009443>

- [3] S. Qiao, J. Liu, Z.Q. Li, S.F. Wang, G.S. Fu, Sb₂S₃ thickness-dependent lateral photovoltaic effect and time response observed in glass/FTO/CdS/Sb₂S₃/Au structure, *Opt. Express* 25 (2017) 19583–19594. <https://doi.org/10.1364/OE.25.019583>
- [4] Y.T. Chena, K.J. Mab, A.A. Tseng, P.H. Chen, Projection ablation of glass-based single and arrayed microstructures using excimer laser, *Opt. Laser Technol.* 37 (2005) 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2004.04.007>
- [5] Joonghan Shin, SeungGu Kang, Changkyoo Park, Jeng O Kim, A study on the effect of Cu reflector in glass drilling using a pulsed NIR laser, *Optics & Laser Technology*, Volume 116, 2019, Pages 328-337, ISSN 0030-3992, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.03.049>
- [6] Dr. Buza G.: Anyagmegmunkálás ultrarövid lézersugár-impulzusokkal, XII. Országos Anyagtudományi Konferencia, 2019.
- [7] Koji Cheng, Ya, *Ultrafast Laser Processing From Micro- to Nanoscale*, CRC Press, 2013. ISBN 9789814267335
- [8] Marcos Dantus, *Femtosecond Laser Shaping From Laboratory to Industry*, CRC Press, 2017. ISBN 9780367877446
- [9] Jean-Claude Diels, Wolfgang Rudolph, *Ultrashort laser pulse phenomena*, Academic Press, 2006. ISBN 978-0-12-215493-5 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-215493-5.X5000-9>
- [10] Jiwang Yan Nozomi Takayama, *Micro and Nanoscale Laser Processing of Hard Brittle Materials*, Elsevier, 2019. ISBN: 9780128168806 <https://doi.org/10.1016/C2018-0-00158-9>