

# Bazaltszállal erősített polimer (BFRP) kompozitok forgácsolhatósági vizsgálata fúrási kísérletekkel

## Investigation of the machinability of basalt fibre reinforced polymer (BFRP) composites by drilling experiments

MAGYAR Gergely<sup>1</sup>, LUKÁCS Tamás<sup>1</sup>, Dr. GEIER Norbert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki-és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar,  
Gyártástudomány-és technológia Tanszék, 1111. Budapest, Műegyetem rkp. 3., T épület 4. em.,  
Tel.: 06/1-463-2515, Fax: 06/1-463-3176, E-mail: info@manuf.bme.hu, Honlap: http://manuf.bme.hu

### Abstract

*The potential applications of basalt fibre reinforced polymer (BFRP) composites, developed as a more sustainable alternative to carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites with excellent specific strength, are supported by materials science, but the available information on their machinability is limited. Therefore, the main objective of our research was to preliminarily investigate the machinability challenges and characteristics of BFRP composites in order to promote their widespread use.*

**Keywords:** BFRP, drilling, cutting force, burr, surface roughness

### Kivonat

*A kiváló fajlagos szilárdsággal rendelkező szénszállal erősített polimer (CFRP) kompozitok fenntarthatóbb alternatívájaként kifejlesztett bazaltszállal erősített polimer (BFRP) kompozitok alkalmazhatósága anyagtudományi oldalról ugyan meg van támogatva, de a forgácsolhatóságukról erősen limitált az elérhető információ. A kutatásunk fő célja így a BFRP kompozitok forgácsolási kihívásainak és jellemzőinek nagyvonalú kísérleti vizsgálata volt, hogy ezzel elősegítsük ezen anyagok elterjedését.*

**Kulcsszavak:** BFRP, fúrás, forgácsolási erő, sorja, felületi érdesség

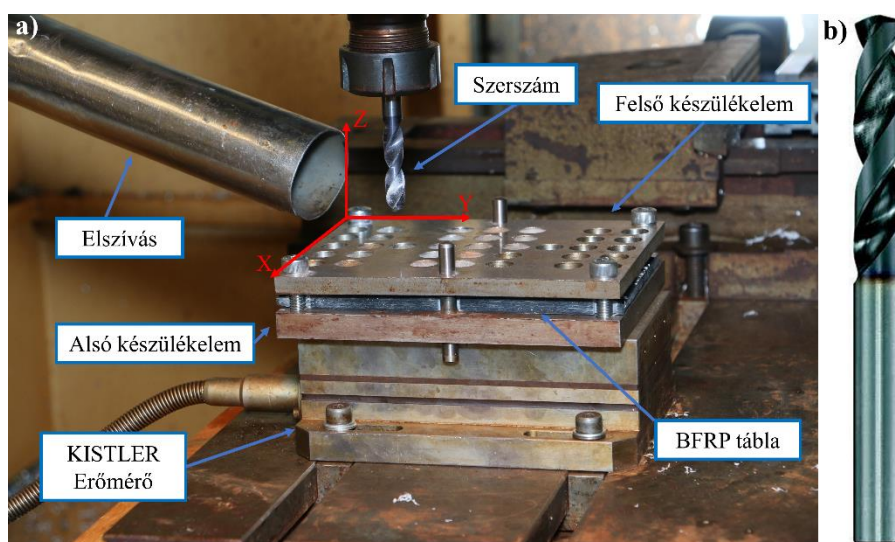
## 1. BEVEZETÉS

A műszaki gyakorlatban egyre nagyobb teret hódítanak a különböző szálerősített polimer kompozitok, melyek közül a leggyakrabban alkalmazott, illetve legtöbbet kutatott anyagok a szénszállal (CFRP), illetve üvegszállal (GFRP) erősített kompozitok. A gyakorlatban leginkább olyan iparágakban történő alkalmazásuk jelentős, ahol a kis tömeg mellett kiváló mechanikai tulajdonságokra van szükség. Ezen anyagok alkalmazása a járműiparban, energiaiparban, vagy akár az űrtechnológiában is megjelenik [1]. Az anyagtudomány leginkább naprakész területein is folyamatosan növekvő igény jelentkezik a fenntartható, illetve természetes alternatívát nyújtó megoldásokra [2]. Ilyen lehetőség rejlik a bazaltban is [3]. A BFRP kompozitok erősítőanyagául szolgáló bazaltszál a fenntartható anyagok közé sorolható, mivel természetes eredetű anyagból készül és előállításánál jellemzően nem használnak kémiai adalékanyagokat, valamint oldószereket vagy más veszélyes anyagokat [4]. A jövőben reális esély van arra, hogy a jó mechanikai tulajdonságai, a CFRP-hez képest környezetkímélőbb előállítása, valamint a GFRP-hez képest a környezetbe kerülése esetén kevésbé irritatív jellege miatt felváltsa a jelenleg leggyakrabban alkalmazott polimer kompozitokat (CFRP, GFRP) azon iparágakban, ahol ezek már elterjedtek [5]. A polimer kompozit anyagok mechanikai tulajdonságaiból és összetett szerkezetéből adódóan forgácsolásuk megvalósítása is komplikáltabb a kvázi homogén anyagokhoz képest (pl. acél vagy alumínium ötvözetek) [6]. Éppen ezért egyes polimer kompozitok (például CFRP és GFRP) forgácsolhatósága napjainkban is egy aktívan kutatott tudományterület [7]. Azonban a BFRP kompozitok forgácsolhatóságáról erősen korlátozott mértékben lehettek fel kutatások, melyek jellemzően élmérés [8], illetve fúrás [9] során létrejövő delamináció vizsgálatával foglalkoznak, míg a fúrás során jelentkező forgácsolási erőről, sorja mérőszámokról és felületi érdességről még nem publikáltak eredményeket. Ahhoz, hogy ezen anyagok a gyakorlatban széleskörben elterjedhessenek szükségszerű a

forgácsolhatóságukról is részletesebb információval rendelkezni. Ezért választottuk kutatásunk fő céljának a BFRP kompozitok forgácsolhatósági vizsgálatát. A CFRP kompozitok alkalmazásából kiindulva a fúrás várható a leggyakoribb forgácsolási módnak a BFRP kompozitok esetében is, így a kutatásunk során fúrási kísérleteket végeztünk különböző előtolás és forgácsolási sebesség mellett.

## 2. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK ÉS MÓDSZEREK

A fúrási kísérleteket egy Kondia B640 típusú háromtengelyes CNC megmunkálóközponton kerültek megvalósításra. A vizsgált munkadarab egy kézi laminálással készült, biaxiális szövet erősítőstruktúrájú, 10 mm vastagságú BFRP kompozit tábla volt. Mátrixanyaga az IpoX Chemicals MR3010/MH3124 típusú epoxi gyantarendszere volt, tömegre vetített 50%-os névleges szállítöltés alkalmazása mellett. A kísérletek során a szálerősített kompozit anyagokra jellemző tipikus forgács és porképződés miatt száraz megmunkálást és elszívást alkalmaztunk egy nagyteljesítményű Nilfisk GB733 ipari porszívó segítségével. A kísérleti környezet az 1. ábra a) részén látható. Az 1. ábra b) részén megfigyelhető a kísérletekhez használt Tivoly Polaris 150 Sim Dim 6537K (cikkszám: 82415011000) típusú, titán alumínium-nitrid bevonatú, nagy csúcshögű, tipikusan acélok és kompozitok megmunkálásához ajánlott fűrő. A kísérletek során a munkadarab megfogását egy fűrőkészülék biztosította, ami kialakításából adódóan illeszkedik a forgácsolási erő méréséhez használt KISTLER 9257BA típusú háromtengelyes erőmérőhöz. Az erőméréshez szükséges volt továbbá egy KISTLER 5070 típusú töltéserősítő, illetve két darab National Instruments USB-4431 adatgyűjtő kártya.



1. ábra. Mérési környezet bemutatása: (a) megmunkálóközpont munkateréje és (b) az alkalmazott fűrő

A kísérletekhez Central Composite kísérletterv Face-Centered vagy másszóval „lapközepes” altípusát alkalmaztuk, hogy viszonylag kevés furat készítésével is kellően alapos képet alkothassunk az egyes faktorok hatásának nagyságáról és szignifikanciájáról. A vizsgálatok során az előtolás ( $f$ ) és a forgácsolási sebesség ( $v_c$ ) hatását vizsgáltuk, mindkettőt három szinten, ahogyan az 1. táblázatban láthatók.

A kísérletek során alkalmazott faktorok és szintjeik

1. táblázat

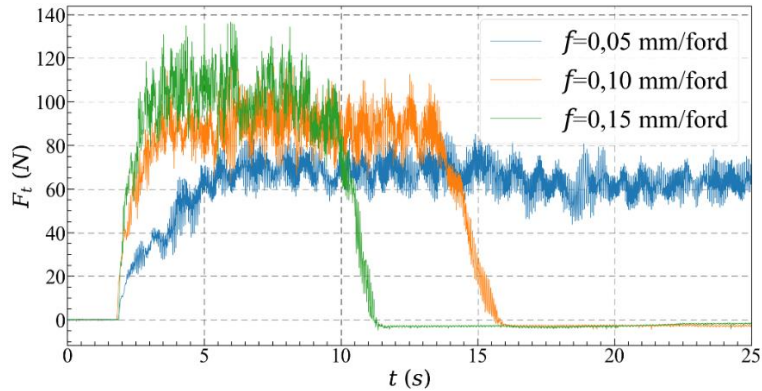
Faktorok	Szintek		
	-1	0	1
Forgácsolási sebesség (m/min)	50	100	150
Előtolás (mm/fordulat)	0,05	0,10	0,15

A kísérletek után a furatokról egy Mitutoyo 361-804 szériaszámú optikai mikroszkóppal képeket készítettünk, majd digitális képfeldolgozás segítségével meghatároztuk a jelentősebb sorjamérszámokat, a sorjafaktort ( $F_b$ ) és a kontúr sorjafaktort ( $F_{bc}$ ). Az elkészült furatok felületi érdességét is vizsgáltuk egy Mitutoyo SJ-400 típusú kontakt profilométerrel. Furatonként öt mérést végeztünk, amely során meghatároztuk a leggyakrabban alkalmazott felületi érdesség mérőszámokat, úgymint az átlagos felületi érdességet ( $R_a$ ) és az egyenletlenség-magasságot ( $R_s$ ). Varianciaanalízis (ANOVA) segítségével meghatároztuk az egyes

jellemzőkhöz tartozó szignifikáns faktorokat, továbbá a válaszfelület-módszer (RSM) alkalmazásával a forgácsolást jellemző függvényeket.

### 3. KIÉRTÉKELÉS ÉS EREDMÉNYEK

Várakozásainknak megfelelően a keletkező axiális forgácsolási erőre ( $F_t$ ) jelentős hatással van a beállított előtolás nagysága, ahogyan az a 2. ábrán is megfigyelhető. A furat forgácsolása során jelentkező forgácsolási erő jelentős hatással van a forgácsoló szerszám kopására és a létrehozott furat minőségére, így ezen adatsorokból származó információk nagy jelentőséggel bírnak az anyag forgácsolhatóságának tekintetében.



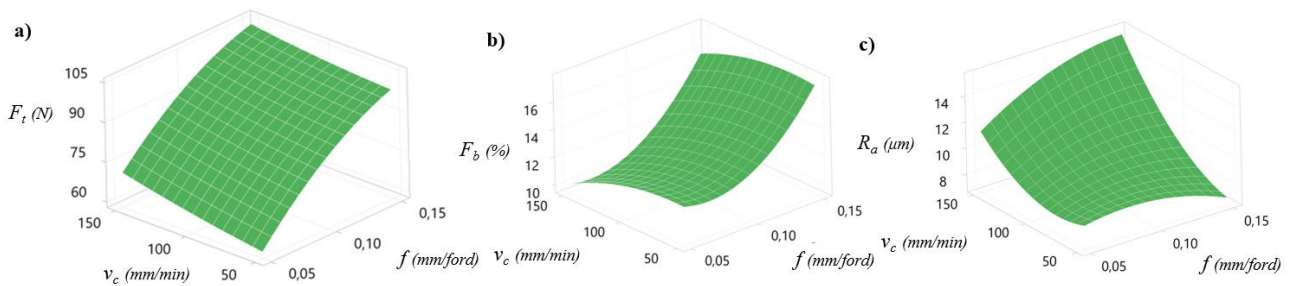
2. ábra. Kiértékelt forgácsolási erőadatok különböző előtolási szinteken

A forgácsolási erőt, a sorjafaktort és az átlagos felületi érdességet az RSM módszerrel fejlesztett másodrendű regressziós egyenletekkel modelleztük. Az egyes mérőszámokat –a forgácsolási sebességgel és az előtolással– leíró függvényeket az (1), (2) és (3) egyenletek mutatják be. Ezen függvények által meghatározott válaszfelületek láthatók a 3. ábrán.

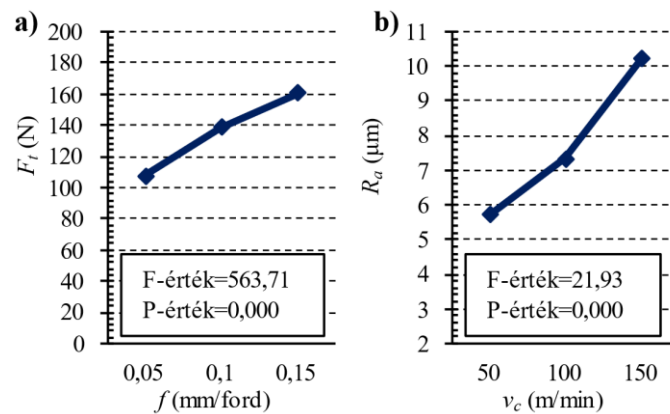
$$F_t = 22,2 + 801 \cdot f + 0,074 \cdot v_c - 1953f \cdot f + 0,000277v_c \cdot v_c - 0,514 f \cdot v_c \quad (1)$$

$$F_b = 15,09 - 117 \cdot f + 0,027 \cdot v_c + 827f \cdot f + 0,000260v_c \cdot v_c - 0,064 f \cdot v_c \quad (2)$$

$$R_a = 10,9 + 31,9 \cdot f - 0,1199 \cdot v_c - 360f \cdot f + 0,000610v_c \cdot v_c + 0,531 f \cdot v_c \quad (3)$$



3. ábra. Válaszfelületek: (a) átlagos forgácsolási erő, (b) sorjafaktor és (c) átlagos felületi érdesség esetén



4. ábra. Szignifikáns hatású faktorok főhatás diagramjai: (a) előtolás hatása a forgácsolási erőre és (b) forgácsolási sebesség hatása az átlagos felületi érdességre

A mért eredményeinken ANOVA vizsgálatot végeztünk, amellyel meghatároztuk az egyes kimeneti jellemzőket szignifikánsan befolyásoló faktorokat. Megállapítottuk, hogy 95%-os szignifikancia szint mellett szignifikáns hatása van a forgácsolási erőre az előtolásnak (F-érték= 563,71 , P-érték=0,000), valamint az átlagos felületi érdességre a forgácsolási sebességnek (F-érték= 21,93 , P-érték= 0,000). Továbbá megállapítottuk, hogy ezen szignifikancia szint mellett a sorjafaktorra sem az előtolás (F-érték= 0,34 , P-érték= 0,560) sem pedig a forgácsolási sebesség (F-érték= 0,02 , P-érték= 0,870) nincs szignifikáns hatással. Az ANOVA vizsgálat során létrehozott, szignifikáns hatásokat szemléltető főhatás diagramokat a 4. ábra mutatja be. Megfigyelhető, hogy a várakozásainknak megfelelően az előtolás növelésével növekedni fog a forgácsolási erő nagysága, valamint a forgácsolási sebesség növelésével romlani fog a furatokon mért felületi minőség is.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatink során megállapítottuk, hogy a BFRP kompozit anyag fúrása során az előtolás hatása szignifikánsan befolyásolja az axiális forgácsolási erő nagyságát. Amennyiben növeljük az előtolást, a forgácsolási erő is növekedni fog. Továbbá szignifikáns hatása volt a forgácsolási sebességnek a furatok felületi érdességére is. A forgácsolási sebesség növekedésével romlani fog a furatok felületi minősége is. A mért értékek alapján megállapítottuk, hogy a sorjafaktorra sem az előtolás sem pedig a forgácsolási sebesség nincs szignifikáns hatással 95%-os szignifikancia szint mellett. Mivel a legkisebb jelentkező forgácsolási erő a legkisebb előtolási szint esetén, illetve a legjobb felületi érdesség érték a legkisebb forgácsolási sebesség esetén jött létre, így a furat minőségét és a szerszámot érő terhelést figyelembevéve a BFRP kompozit anyagok fúrása esetén célszerű mindkét technológiai paraméter esetén a minimumra törekedni. Azonban jelen esetben is elmondható, hogy a technológiai paraméterek megválasztása során mindig célszerű a szerszámgyártó által megadott katalógusból választani a paraméterek szintjét, viszont a megadott alkalmazási tartományokban célszerű a minimális előtolásra és forgácsolási sebességre törekedni. A kutatás következő lépése, hogy jelen eredményeinket más kompozitanyagokra jellemző eredményekkel hasonlítjuk össze. Eredményeink alapján a BFRP kompozit anyagok felhasználásának forgácsolhatóság szempontjából nincs releváns akadálya.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők konferencia részvételét a BME Gépészmérnöki Kar NTP-HHTDK-21-0051 pályázata támogatta. Ezt a kutatást az Emberi Erőforrások Minisztérium ÚNKP-21-2-I-BME-237 azonosítószámú „Új Nemzeti Kiválóság Program”, és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal OTKA-PD20-134430 azonosítószámú projektje támogatta. A szerzők köszönik Dr. Tamás-Bényei Péter, Poór Dániel István, Pereszlai Csongor és Gödri András kísérleti munkálatokban nyújtott segítségét.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Wang R., Zheng S., Zheng Y., „Introduction to polymer matrix composites”, *Polymer Matrix Composites and Technology*, 1–548., 2011. doi:10.1533/9780857092229.1
- [2] Czigány T., „Basalt Fiber Reinforced Hybrid Polymer Composites”, *Materials Science Forum*, 473-474, 59–66., 2005. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.473-474.59

- 
- [3] Czigány T., „Trends in fiber reinforcements—the future belongs to basalt fiber”, *Express Polymer Letters*, 1, 59, 2007. doi:10.3144/expresspolymlett.2007.11
- [4] Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A., „A review on basalt fibre and its composites”, *Composites Part B: Engineering*, 74, 74–94., 2015, doi: 10.1016/j.compositesb.2014.12
- [5] Dhand V., Mittal G., Rhee K. Y., Park S.-J., Hui D., „A short review on basalt fiber reinforced polymer composites”, *Composites Part B: Engineering*, 73, 166–180., 2015., doi:10.1016/j.compositesb.2014.
- [6] Hejjaji A., Singh D., Kubher S., Kalyanasundaram D., Gururaja S., „Machining damage in FRPs: Laser versus conventional drilling”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 82, 42–52., 2016
- [7] Geier N., Szalay T., Takács M., „Analysis of thrust force and characteristics of uncut fibres at non-conventional oriented drilling of unidirectional carbon fibre-reinforced plastic (UD-CFRP) composite laminates”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018. doi:10.1007/s00170-018-2895-8
- [8] Navarro-Mas M. D., Meseguer M. D., Lluch-Cerezo J., García-Manrique J. A., „Comparison of Different Parameters to Evaluate Delamination in Edge Trimming of Basalt Fiber Reinforced Plastics (BFRP)” *Materials*, 13(23), 5326, 2020. doi: 10.3390/ma13235326
- [9] Amuthakkannan P, Manikandan V, Uthayakumar M. „Analysis of delamination in drilling of basalt fiber reinforced polymer composites.” *Mater Phys Mech*, 2015;24:1–8.