

Egyirányú CFRP forgácsolhatósági vizsgálata frakcionális faktoriális kísérlettervvvel

Machinability analysis of UD-CFRP with fractional factorial design of experiment

GEIER Norbert ¹, Dr. MÁTYÁSI Gyula ²

^{1,2} Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gyártástudomány és –technológia Tanszék, Budapest, 1111. Egry József utca 1. T épület IV. emelet, tel.¹: +3630/891-88-21, E-mail: geiernorbert92@gmail.com¹; matyasi@manuf.bme.hu²

Abstract: *In this study the machinability of uni-directional carbon fiber reinforced plastics (UD-CFRP) was analyzed with central composite design of experiments method. The experiments were carried out with three different cutting tools. Adequate mathematical models were developed to predict the cutting force, surface roughness and delamination.*

Összefoglaló: *Ebben a kutatásban, egy-irányban szénszállal erősített polimer kompozit (UD-CFRP) forgácsolhatóságát vizsgáltuk central composite kísérlettervezési módszer segítségével. A kísérletek során három különböző szerszámmal végeztünk fűrási kísérleteket. Az eredmények kiértékelése során adekvát matematikai modelleket alkottunk, melyekkel a felületi érdesség, a forgácsolási erő és a delamináció (rétegelválás) mértéke becsülhető, a forgácsolhatóság elemezhető.*

Kulcsszavak: UD-CFRP, forgácsolhatóság, optimalizáció, delamináció, kísérlettervezés

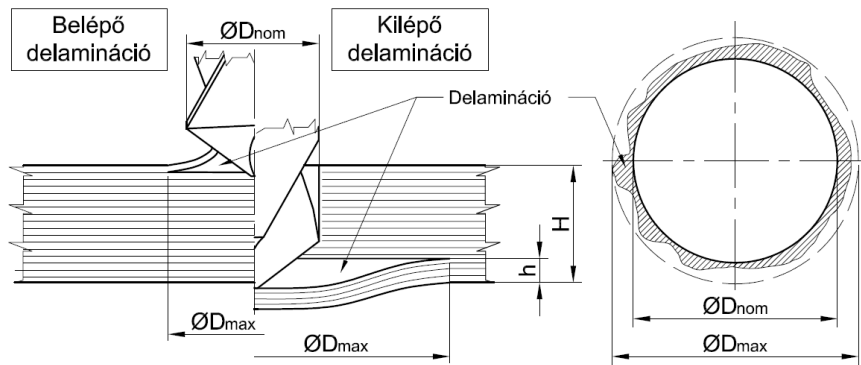
1. BEVEZETÉS

A gépjármű- és repülőgépipar fejlődésének köszönhetően egyre szélesebb körben elterjedt a polimer kompozitok alkalmazása, fokozatosan megjelent az igény arra, hogy a polimer kompozitok forgácsoló megmunkálását optimalizálják. Tekintve, hogy ezek az anyagok könnyebbek, nagyobb szilárdsággal rendelkeznek, szerkezetük anizotrop és inhomogén, a forgácsoló megmunkálásuk egy sor egyedi problémát és kihívást jelent. A repülőgépiparban a lehető legjobb minőség elérése a cél, a termelékenység növelése csak másodlagos szempont. Ezt folyamatos folyamatellenőrzéssel érik el, hiszen a polimer kompozitok forgácsolhatóság elmélete és gyakorlata napjainkban még nem teljesen kidolgozott.

Szálerősített polimer kompozitok forgácsolásakor a leggyakrabban előforduló, nehezen befolyásolható hiba a delamináció (réteg elválás) [1][2][3]. Delaminációnak nevezzük az egyes laminált rétegek elválása során keletkezett üreg hibát. Furatkészítésnél ez jellemzően a furat be és kilépő élei közelében figyelhető meg [4]. A rétegelválás nagyságát a delaminációs faktorról (D) jellemezhetjük, ami egy egydimenziós mutatószám, nagysága (fűrás esetében) a delaminációs térség maximális ($D_{\max}$) és nominális (D_{nom}) átmérőinek hányadosa:

$$D = \frac{D_{\max}}{D_{\text{nom}}} \quad (1)$$

Csigafúróval készített furat esetében a delamináció létrejöttét és a delaminációs faktor értelmezését illusztrálja az 1. ábra. Ebben a kutatásban a forgácsolási sebesség, az előtolás és a származó menetemelkedésének hatását vizsgáltuk a delaminációra, a forgácsoló erőre és a felületi érdességre. A kísérleteket a central composite kísérlettervezési módszerrel terveztük, míg a CFRP forgácsolhatóságára vonatkozó következtetéseket a válasz felület módszer (RSM) segítségével tettük meg.



1. ábra: Sematikus ábra a belépő és kilépő furat éleken megjelenő delaminációról

2. KÍSÉRLETI LEÍRÁS

A kísérleteket a BME Gyártástudomány és –technológia Tanszék „G” laborjában található Kondia B640 típusú, 3 tengelyes CNC marógépen hajtottuk végre. A szerszámgép mellé ideiglenesen telepítettünk egy ipari elszívó berendezést, amivel a CFRP forgácsot elszívtuk a munkatérből. A forgácsolás során fellépő három erőkomponenst egy KISTLER 9257BA típusú erőmérő cellával 1000 Hz mintavételezési frekvenciával mértük. A Delaminációt egy Olympus SZX16 típusú mérőmikroszkóppal és a hozzá tartozó Stream Essentials szoftver segítségével elemeztük. A felületi érdességet egy Mitutoyo SJ-400 típusú adatgyűjtő egységgel mértük. A fúrési kísérletekhez három szerszámot használtunk fel, melyek faktorkészlete az 1. táblázatban található.

A kísérletekhez alkalmazott forgácsoló szerszámok 1. táblázat.

Szerszám	Átmérő (mm)	n (ford/min)	v_c (m/min)	f (mm/ford)	h (mm)
SECO SD205A-11.138-53-12R1-C1 csigafúró	Ø11,138	1430-4260	50-150	0,035-0,093	-
PERFOR 82366511000 8 jobbspirálú szármáró	Ø10	1590-4770	50-150	0,02-0,06	0,1-3,0
PERFOR 82366610800 balspirálú szármáró	Ø8	1990-5960	50-150	0,02-0,06	0,1-3,0

3. KIÉRTÉKELÉS

A kiértékelés során az RSM módszert használtuk, a válaszfelületet másodrendű polinom alakban kerestük:

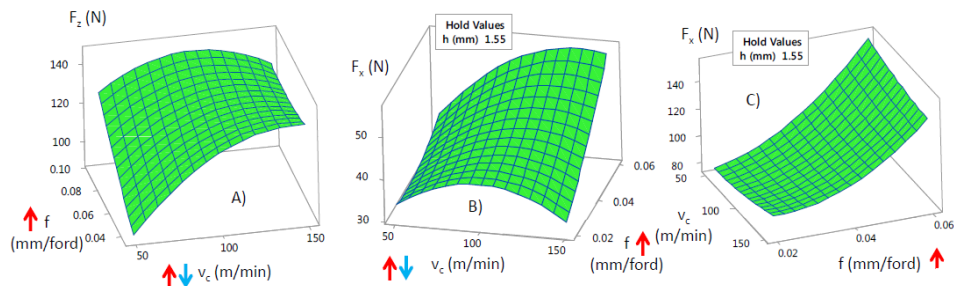
$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j + \delta \quad (2)$$

,ahol x_i a faktorok, $x_i x_j$ a faktorok interakciója, b_i a regressziós együtthatók, δ a véletlen hiba, míg y a keresett optimalizációs paraméter (függő változó). A kiértékelés során a matematikai modelleket grafikusan adekvát vizsgáltuk. A grafikus adekvátvizsgálat során azt vizsgáltuk, hogy az ismétlési szórás által kijelölt konfidencia sávon belül marad-e a regressziós polinom, hiszen a polinom nem közelítheti nagyobb hibával a mért pontokat, mint az egy kísérleti beállításban mért optimalizációs paraméterek reprodukálhatósági szórása.

3.1. Forgácsolási erő

A central composite kísérletterv alapján elvégzett fúrési kísérleteket az RSM módszerrel értékeltük ki és vizualizáltuk. A 2. ábrán látható az egyes faktorok hatása a vizsgált függő változókra.

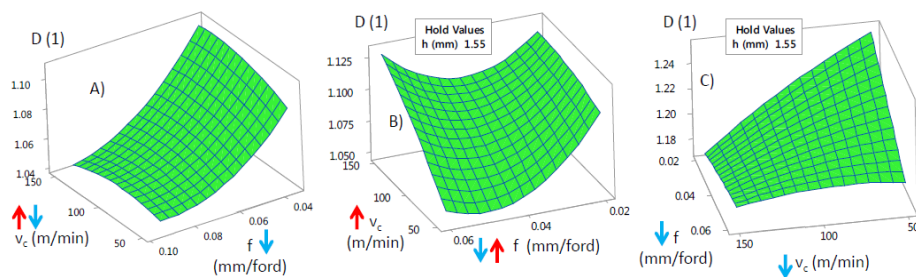
Mindhárom szerszámmal megfigyelhető volt, hogy a jellemző erőkomponens az előtolás hatására növekszik, míg a forgácsolási sebességnek kicsi a hatása. A forgácsolási sebesség egyes rögzített előtolás értékeknél parabolikus jellegű, ennek a viselkedésnek az okát további kísérletekkel vizsgálni szükséges.



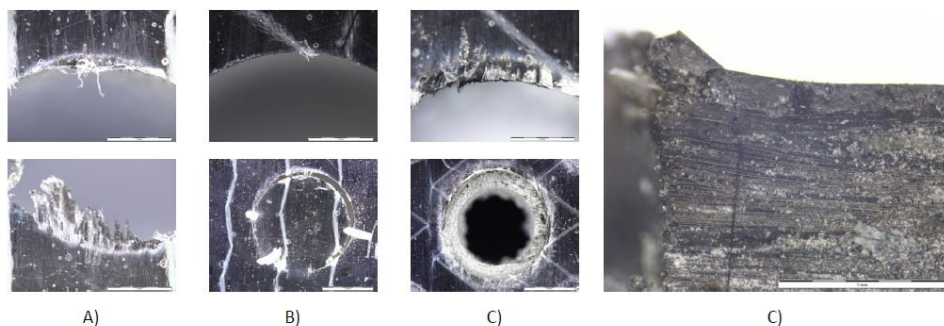
2. ábra: A forgácsolási sebesség és az előtolás hatása az A) axiális irányú forgácsoló erőkomponensre fűrés esetén B) az x irányú forgácsoló erőkomponensre orbitális fűrés esetén (jobbspirálú szármáró) C) x irányú forgácsoló erőkomponensre orbitális fűrés esetén (balspirálú szármáró)

3.2. Delamináció

A delaminációs faktor változása látható a vizsgált faktorok függvényében a 3. ábrán. Az ANOVA és regressziós analízis alapján a szármárók menetemelkedése nem számított szignifikáns faktornak. Csigafűrónál az előtolás, míg a szármáróknál a forgácsolási sebesség volt a szignifikáns független változó a vizsgált faktortérben. A 4. ábrán az egyes szerszámokkal készített furatok normál és metszeti képei láthatóak. A leggyakrabban előforduló hibák a delamináció, a vágatlan rostok, vágatlan gyanta és a kitöredezés volt. Jobbmenetes szármáróval készült furatok kilépő éleinél furatsapka megjelenése volt tapasztalható több forgácsolási kondíció esetén is, míg a belépő élein minimális makro-geometriai hibák voltak megfigyelhetőek. Balmenetes szármáróval készült furatokban odaégett forgács port lehetett találni a forgácsolás után, amit nehezen lehetett eltávolítani.



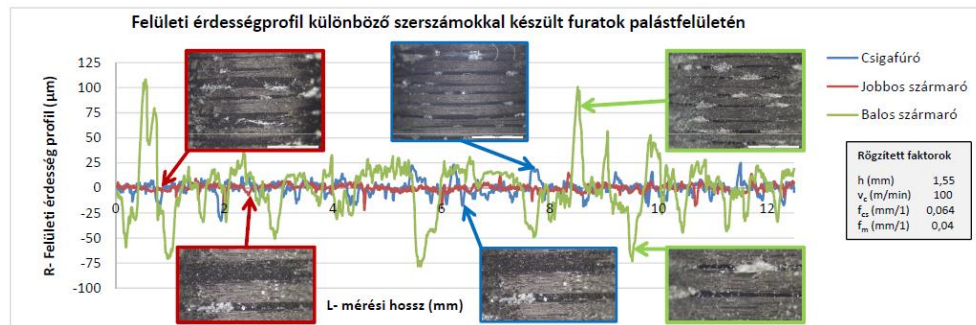
3. ábra: A forgácsolási sebesség és az előtolás hatása a delaminációs faktorra A) fűrés esetén B) orbitális fűrés esetén (jobbspirálú szármáró) C) orbitális fűrés esetén (balspirálú szármáró)



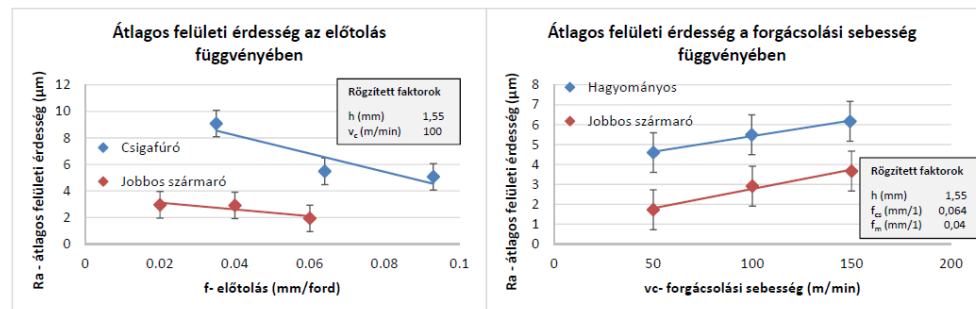
4. ábra: Különböző szerszámokkal készített furatok képei. A) fűrő szerszám B) jobbspirálú szármáró C) balspirálú szármáró

3.2. Felületi érdesség

A jobbspirálú szármarróval és a speciális csigafúróval készült furatok palástfelületi érdessége egy nagyságrenddel jobb volt, mint a balspirálú szármarróval készült furatoké, ahogyan az 5. ábrán látható. A jobbspirálú szármarrónál és a csigafúrónál a vizsgált faktorok hatása az átlagos felületi érdességre jellegre azonos volt. Az előtolás növelésének hatására csökken, a forgácsolási sebesség növelésének hatására pedig növekszik az átlagos felületi érdesség értéke, ahogyan a 6. ábrán látható.



5. ábra: Különböző szerszámokkal készített furatok palástfelületi érdessége. A mérések a faktortér középpontjában történtek.



6. ábra: Az előtolás és a forgácsolási sebesség hatása a furatok palástfelületi átlagos érdességére

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásunkban a central composite kísérlettervezési módszer alapján megterveztük, majd elvégeztük a kísérleteket a BME Gyártástudomány és –technológia Tanszéken. A kísérleti eredményeket az RSM módszer segítségével, másodrendű polinominális matematikai modellt használva értékeltük ki különböző függő változókra (F_z , F_x , D , R_a) vonatkoztatva. Az elért eredmények alapján további kísérleteket fogunk elvégezni, melyek célja, hogy pontosabban megismerjük a vizsgált forgácsolási folyamatokat. Kiseb hibával, magasabb szignifikancia szinten tudunk modelleket alkotni, hogy a valóságos folyamat az iparban megkövetelt pontossággal befolyásolható és optimalizálható legyen.

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J. P. Davim, Pedro Reis: Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. Elsevier Composite Structures 59 (2003) 481-487.
- [2] Richard Zeumann, Josef Sacherl, Wolfgang Hake, Friedrich Bleicher: New Measurement Processes to Define the Quality of Machined Fibre Reinforced Polymers. Procedia Engineering 100 (2015) 636-645.
- [3] Uwe Heisel, Tobias Pfeiforth: Influence of Point Angle on Drill Quality and Machining Forces when Drilling CFRP. Procedia CIRP 1 (2012) 471-476.
- [4] Ho-Cheng, H., and Dharan, C. K. H., 1990, "Delamination During Drilling in Composite Laminates," ASME J. Eng. Ind., 112, pp. 236–239.