



Üvegszál-erősítésű, lapos profilok ragasztott kötéseinek vizsgálata

Investigation of Bonded Joints in Glass Fiber Reinforced Flat Profiles

Szabó Valentin,¹ Vaczkó Dániel²

¹ Neumann János Egyetem, GAMF kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék. Kecskemét, Magyarország, szabo.valentin@gamf.uni-neumann.hu

² Neumann János Egyetem, GAMF kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék. Kecskemét, Magyarország, vaczko.daniel@gamf.uni-neumann.hu

Abstract

Nowadays, raw material shortage is a characteristic problem that affects every sector of the industry. Composite materials reinforced with fiberglass, manufactured through the pultrusion process, have extremely favorable properties. In our research, we examined the application of surface treatments on pultruded profiles to enhance surface energy. We roughened the surfaces to be bonded using manual sanding and sandblasting techniques, and then performed wetting measurements using various degreasing agents. To demonstrate the occurrence of surface treatment and determine its magnitude, we inspected the surfaces with a roughness tester. The bonds were created using two different structural adhesives as well as epoxy resin. The shear strength values of the flat profiles were compared through tensile tests, and the effects of the surface treatments were determined. Based on the results, the appropriate surface treatment and adhesive type greatly influence the developed bond strength.

Keywords: *bonding, pultrusion, composite, surface energy, glass fibre.*

Összefoglalás

Napjainkban a nyersanyaghiány egy jellegzetes probléma, amely az ipar minden területén jelentkezik. A pultrúziós eljárással gyártott, üvegszál-erősítésű kompozitok rendkívül kedvező tulajdonságokkal rendelkeznek. A kutatás során pultrudált profilokon felületkezelések alkalmazását vizsgáltuk a felületi energia növelése érdekében. Kézi csiszolással és homokszórással érdesítettük a ragasztani kívánt felületeket, majd különböző zsírtalanítószereket alkalmazva nedvesíthetőségi méréseket végeztünk el. A felületkezelés létrejöttének bizonyítására és nagyságának a meghatározására a felületeket érdességmérővel ellenőriztük. A ragasztásokat két különböző szerkezeti ragasztóval, valamint epoxi gyantával készítettük el. A lapos profilok nyírószilárdsági értékét szakítóvizsgálaton hasonlítottuk össze, majd meghatároztuk a felületkezelések hatását. Az eredmények alapján a megfelelő felületkezelés, illetve a ragasztó típusa nagymértékben befolyásolja a kialakult kötészilárdságot.

Kulcsszavak: *ragasztás, pultrúzió, kompozit, felületi energia, üvegszál.*

1. GFRP-profilok

A pultrúzióval előállított, üvegszál-erősítésű profilok (glass fiber reinforced plastic, GFRP) kompozit anyagok. A pultrúzió egy gyártási eljárás, amelyet folytonossal-erősítésű, polimermát-

rixú kompozitok előállítására használnak. A pultrúzió során a szálakat és a gyantát általában egy melegített szerszámon húzzák át, ahol a gyanta megkeményedik és szilárd alakot ölt.

A pultrúziós folyamat lehetővé teszi a nagy szilárdságú, könnyű és tartós kompozit alkatrészek

és szerkezeti elemek gyártását. Ez az eljárás egyre népszerűbb az építőiparban, az autóiparban, az elektromosiparban és más iparágakban, amelyek olyan erős, könnyű és tartós anyagokra támaszkodnak, amelyek ellenállnak a korrózióknak és a vegyi anyagoknak. A pultrúzió egyik fő előnye abban rejlik, hogy lehetővé teszi összetett alakzatok egyenletes méretekkkel és nagy pontossággal történő gyártását, ami miatt egyre többen választják ezt az eljárást a szerkezeti elemek gyártásához. A pultrudált anyagok jó korrózió- és vegyszerállósággal rendelkeznek. A kis tömeg mellett a szerkezeti elemeknek nagy a mechanikai szilárdságuk, ami nagy stabilitást és megbízhatóságot biztosít számukra [1].

A pultrudált profilok felületi energiája kicsi, ennek oka a gyártástechnológia során alkalmazott felületkezelés. Ennek eredményeként az ilyen alkatrészek ragasztása kihívást jelenthet. Megfelelő felületkezeléseket alkalmazva növelhető a felületi energia és a ragasztott felület nagysága is, ezáltal nagymértékben javítható a kötés [2].

Kutatásunkban kézi csiszolással és homokszórással kezeljük a felületeket, majd különböző zsírtalanítószereket alkalmazva tisztítjuk őket. A kezelések hatásait nedvesíthetőségi és felületi érdesség-méréssel vizsgáljuk, majd szakítógép segítségével a ragasztott kötés nyírószilárdságát határozzuk meg.

A próbatetest és a ragasztott felület hosszának az aránya 4:1-hez. A befogási hossz alapján is ezt az arányt alkalmaztuk, így elegendő távolságra van a ragasztott felület a befogási ponttól. A lapos profilok 6 mm vastagságúak, 50 mm szélességűek és 100 mm hosszúak. A ragasztási és a befogási hossz 25-25 mm. A ragasztott felület 1250 mm² nagyságú. A lapos profilhoz szükséges kísérlettervet az 1. táblázat tartalmazza. Minden próbatestetípusból három szakítást végeztünk. A próbatestek jelölései az alábbi táblázatban láthatók, ahol a zárójelben lévő adott típusú próbatesteken belüli szakítási számok vannak feltüntetve.

1. táblázat. A kísérletek során alkalmazott jelölések

Felületkezelések típusa	Ragasztótípusok		
	Loctite HY4090	Sikapower 4720	IpoX MR 3010 gyanta
Kezeletlen	Lo_S_(1-3)	S_S_(1-3)	Gy_S_(1-3)
Homokszórt	Lo_H_(1-3)	S_H_(1-3)	Gy_H_(1-3)
Csiszolt	Lo_Cs_(1-3)	S_Cs_(1-3)	Gy_Cs_(1-3)

2. Határfelület-vizsgálat

A kötészilárdság egyik alapvető eleme, hogy a ragasztóanyag képes legyen megfelelően nedvesíteni a ragasztandó anyagot. A nedvesítőképességet meg tudjuk határozni egy szilárd felületre helyezett folyadék szétterülésével. A peremszög (θ) mint mérőszám a három fázis érintkezési pontjában kialakuló érintkezési szög. A peremszöget kezeletlen, kézi csiszolással kezelt és homokszórt felületen vizsgáltuk. Stazi, F., Giampaoli, M., Rossi, M., & Munafò, P. kutatásukban [3] a kézi csiszolásos és a homokszórásos felületen jobb eredményeket értek el a kezelés nélküli felülethez képest. Ezért a próbatestek felületét hagyományos kézi csiszolással, P80-as csiszolópapírral érdesítettük.

2.1. Érdességvizsgálat

Két típusú felületi érdesítést alkalmaztunk a próbatesteken: az érdesítés nélküli mellett homokszórás és kézi csiszolás. Ahhoz, hogy a felületi érdességet meg tudjuk mérni, az érdesített felületeken érdességvizsgálatot végeztünk el. Az általunk mért érdesség csupán a felületek közötti különbségek meghatározására szolgál.

A felületeket Mitutoyo Formtracer SV-C3100-as gépen vizsgáltuk meg. Az átlagos érdesség (R_a) a kezelés nélküli felülethez képest kétszer akkora a csiszolt és homokszórt felületen. A 2. táblázat az átlagolt értékek eredményét mutatja.

A felületen létrejövő egyenetlenség-magasság (R_z) is számottevően megnőtt a felületkezelések által, hiszen a kezelés nélküli felülethez képest valamivel több mint 2,5-szeresére növekedett ez az érték. A maximális egyenetlenség-magasság (R_t) átlagánál a sima felület értékének közel háromszorosa a csiszolt és a homokszórt felület értéke.

2.2. Nedvesítési vizsgálat

A peremszöget videokamera segítségével rögzítettük. A cseppeket Accumax Pro pipetta segítségével helyeztük a felületekre. Szondafolyadék-ként desztillált vizet alkalmaztunk. Méréseink száma a felülettípus és a tisztítószerek számának

2. táblázat. Az érdességvizsgálaton kapott eredmények kiértékelése

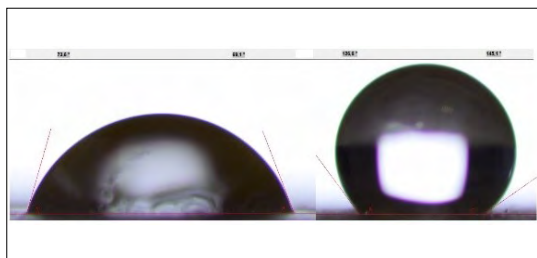
	Kezeletlen	Csiszolt	Homokszórt
R_a (μm)	1,77	3,72	3,73
R_z (μm)	8,38	21,51	22,20
R_t (μm)	11,22	31,73	33,63

(itt egy kezelés nélkülivel is számolni kell) szorzata, tehát 12 mérést készítettünk, mérésenként 3 cseppet használva. A bal és a jobb oldali érintkezési szöget pedig képelemzéssel számítottuk ki. Háromféle felületípust mértünk, a kezelés nélkülit, a homokszórt és a kézzel csiszolt felületet. Zsírtalanítás szempontjából négy tisztítási típust alkalmaztunk. Elsősorban egy zsírtalanítás nélküli felületet vizsgáltunk meg, hogy legyen mihez viszonyítani a különböző zsírtalanító folyadékokat. Kétféle zsírtalanítószer alkalmaztunk: acetont és Loctite Super Cleaner tisztítósprayt, illetve egy alkoholt, metanolt [4].

A mérések által kapott két szélsőérték képei láthatók az 1. ábrán, ahol a legjobban elterült csepp a sima felületen történt zsírtalanítás nélkül, a másik képen pedig a legkevésbé elterült csepp látható csiszolt felületen zsírtalanítás nélkül.

Az eredmények között nagy eltérések vannak. A legjobban nedvesíthető felület a felületkezelés és zsírtalanítás nélküli felület. Megfigyeltük, hogy a kezeletlen felület a Loctite Super Cleaner tisztítóspray alkalmazásával a többi tisztítófelülethez képest jobb eredményt mutatott, de még így sem jobbat azon felületnél, amelyiket zsírtalanítás nélkül vizsgáltunk. A kézzel csiszolt és a homokszórt felületeknél egyértelműen a metanollal való zsírtalanítás volt a leghatékonyabb, mivel a kézzel csiszolt felületnél az átlag peremszög $94,18^\circ$, a homokszórtól pedig $94,25^\circ$ -os eredményt adott. Az érdesített felületeknél megfigyeltük, hogy az aceton nagyjából $8-9^\circ$ szögeltéréssel mutatott nagyobb értékeket a metanolhoz képest.

A mért eredmények alapján a kezelés és a zsírtalanítás nélküli felület nedvesíthetőségi képessége érte el a részleges nedvesíthetőségi tartományt, aminek a peremszög értéke 90° alatti volt. A felhasznált ragasztók elterülése viszkozitástól függő, ezért célszerű lesz beavatkozni. Vannak ragasztógyártók, akik előírják a használati utasításban a ragasztó elterítését/elkenését, például műanyag kenőlappal.



1. ábra. A legjobban (bal) és a legkevésbé (jobb) elterült csepp a mérések során

3. Mérések és vizsgálati eredmények

A mérések során különböző felületi érdességeket hasonlítottunk össze úgy, hogy a felületeket összeragasztottuk, minden próbatestnél a ragasztott felület 1250mm^2 , majd szakítóvizsgálatot végeztünk. A legjobban sikerült méréseket megismételtük két- és háromszoros méretű próbatestekkel, ezzel megvizsgálva azt, hogy lineárisan növekvő értékeket kapunk-e.

A méréseket Instron 5900R 4482-es szakítógépen végeztük el. Minden mérési típus esetén három szakítóvizsgálat történt. A ragasztók teljesítménye nyírószilárdság szempontjából a Loctite-nál (acél próbatesten) 17N/mm^2 , a Sikapowernél 14N/mm^2 , a gyantánál viszont nincs gyári érték a nyírószilárdságra.

A kezeletlen felületű próbatesteken mért maximális terhelés 5000N alatt maradt. A Loctite-nál három szakításból kettőnél közel azonos értéket kaptunk ($3113,1\text{N}$ és $3118,3\text{N}$), míg a harmadik értéknél nagyjából 800N -al lett kevesebb. A Sikapower által kapott eredményeknek nagyobb a szórása, mivel a legkisebb eredmény $3097,3\text{N}$, a legnagyobb pedig $4958,9\text{N}$. A gyanta a legkisebb szórást eredményezte, így ennél $2570,3\text{N}$ és $3221,5\text{N}$ közötti értékeket kaptunk. Meghibásodás szempontjából a ragasztó minden esetben teljes felületen felvált a ragasztott felületről. A 3. táblázatban a kezeletlen felületeknél kapott eredmények értékei és a meghibásodások típusai láthatóak.

A csiszolt felületeknél kapott eredmények egyenesen mind kisebb értékeket mutattak a homokszórt felületekhez képest, de a kezeletlen felületekhez viszonyítva dupla akkora terhelési ellenállást mutattak. A 4. táblázatban láthatóak a mérési eredmények. A kezeletlen felülethez képest kétszer akkora terhelést viseltek el, de még így teljes leválás volt tapasztalható. A terhelések értékei kétszeresére növekedtek a kezeletlen felületekhez képest, de a meghibásodás jellege nem mutatott különbséget.

3. táblázat. Sima felületen kapott eredmények

Próbatest-jelölés	Maximális terhelés átlaga (N)	Nyírószilárdság (N/mm^2)	Meghibásodás jellege
Gyanta-kezeletlen	2907,9	2,33	Felvált, teljes felületen
Loctite-kezeletlen	2841,9	2,27	Felvált, teljes felületen
Sikapower-kezeletlen	4896,7	3,92	Felvált, teljes felületen

4. táblázat. Csiszolt felületeken kapott eredmények

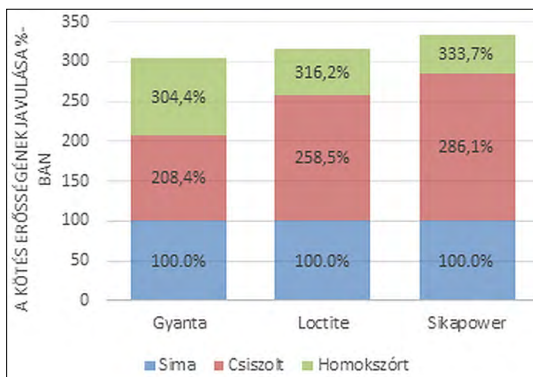
Próbatest-jelölés	Maximális terhelés átlaga (N)	Nyírószilárdság (N/mm ²)	Meghibásodás jellege
Gyanta-Csiszolt	6060,7	4,85	Felvált, teljes felületen
Loctite-Csiszolt	7345,7	5,88	Felvált, teljes felületen
Sikapower-Csiszolt	9115,1	7,29	Felvált, teljes felületen

5. táblázat. Homokszórt felületeken kapott eredmények

Próbatest jelölés	Maximális terhelés átlaga (N)	Nyírószilárdság (N/mm ²)	Meghibásodás jellege
Gyanta-Homoksz.	8851,4	7,08	Részlegesen felvált
Loctite-Homoksz.	8987,2	7,19	Felvált, teljes felületen
Sikapower-Homoksz.	16339	13,07	Részlegesen felvált



2. ábra. A részlegesen felvált ragasztott kötés a homokszórt profilon Sikapower ragasztóval



3. ábra. Felületkezelések hatása a sima felülethez képest

A homokszórt felületek az előzőnél jobb eredményeket hoztak, mivel sima felülethez képest mind a három ragasztás legalább háromszoros értékre növekedett. A Loctite ragasztóval és a gyantával készült kötések hasonló értékeket mutattak. A Sikapowerrel készült kötés önmagához képest is jó kötetést eredményezett, hiszen nemcsak több mint a háromszorosát mutatta a sima felületi ragasztáshoz képest, de még a gyártó által megadott maximális nyírószilárdsági értéket is 93%-ban teljesítette. Az 5. táblázatban a homokszórt felületeknél kapott eredmények értékei és a meghibásodások típusai láthatóak.

A Sikapower ragasztóval összeragasztott próbatesteknél jelentős javulást tapasztaltunk a ragasztott kötés minőségében. Az összeragasztott kötés mellett a pultrudált profilban jött létre a szakadás, amit a 2. ábra is szemléltet.

Az adhéziós és kohéziós meghibásodások aránya nagyjából 60–40% volt. Gyantás ragasztásnál minimálisan, de megjelent a kohéziós hibajelenség. A sima felületekhez képest a homokszórt felületek összességében több mint háromszoros nyírófeszültségi értékeket adtak, ami arányosan mind a három ragasztóval készült kötésre igaz. A Sikapower a gyári nyírófeszültséget szinte teljesítette, hiszen ennek a 93%-át mértük a próbatesteken átlagosan.

A 3. ábrán az látszik, hogy a homokszórással kezelt felületek eredményezték a legerősebb kötetést. A szakadás során adhéziós és kohéziós hibák jelentkeztek a homokszórással érdesített felületen. A lapos profilok szakításánál a legnagyobb eredményt a Sikapower és a homokszórt felületérdesítés kombinációja eredményezte, ezért ezzel a kombinációval további vizsgálatot végeztünk. A következő vizsgálat során növeltük az érdesítési felületeket, majd azt vizsgáltuk meg, hogy a nyíróerők hogyan követik ezt a változtatást.

4. Következtetések

A ragasztástechnológia hatékonyságát leginkább a megfelelően előkészített felület befolyásolja. Esetünkben a kicsi felületi energiájú határfelület egyszerű felületkezelési, érdesítési eljárások alkalmazásával eltávolítottuk, ezzel megnöveltük a felületi energiát és a ragasztási terület nagyságát is. Ezzel a ragasztás számára előnyös felület alakult ki. Ezáltal a homokszórással kezelt próbatestek mind a három típusú ragasztóanyagnál 300% feletti javulást mutattak a kezeletlen felülethez képest. A Sikapowerrel ragasztott homokszórással kezelt felületek teljesítették a legjobban.

Ennek két oka lehet, az egyik az, hogy a homokszórással homogénebb felületi érdesség-eloszlás hozható létre, ami egyenletesebb kötést eredményez. A másik lehetséges ok az, hogy a Sikapower ragasztó tartalmaz 0,25 mm-es távtartó üveggyöngyöket, amelyek a ragasztás során biztosítják az optimális ragasztási hézagot. Így a ragasztott kötés kialakítása során a megfelelő hézag szinte biztosított.

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] Encinas N., Lavat-Gil M., Dillingham R. G., Abenajar J., Martínez M. A.: *Cold plasma effect on short*

glass fibre reinforced composites adhesion properties. International Journal of Adhesion and Adhesives, 48. (2014) 85–91.

<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.09.026>

[2] Volk M., Yuksel O., Baran I., Hattel J. H., Spangenberg J., Sandberg M.: *Cost-efficient, automated, and sustainable composite profile manufacture: A review of the state of the art, innovations, and future of pultrusion technologies*. Composites Part B: Engineering, 246. (2022) 110135.

<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110135>

[3] Stazi F., Giampaoli M., Rossi M., Munafò P.: *Environmental ageing on GFRP pultruded joints: comparison between different adhesives*. Composite Structures, 133. (2015) 404–414.

<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.07.067>

[4] Berczeli M., Weltsch Z.: *Enhanced wetting and adhesive properties by atmospheric pressure plasma surface treatment methods and investigation processes on the influencing parameters on HIPS polymer*. Polymers, 13/6. (2021) 901.

<https://doi.org/10.3390/polym13060901>