



Neumann János Egyetem
Műszaki és Informatikai
Kar

Pultrúzióval gyártott üvegszál erősítésű profilok plazmával felületkezelt ragasztott kötéseinek vizsgálata

Examination of plasma-treated bonded
joints of fiberglass reinforced profiles
manufactured by pultrusion

Biró Tamás Attila
FG8DWY

Vaczó Dániel, tanársegéd

2023

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	3
1. IRODALOMKUTATÁS.....	4
1.1. POLIMEREK	4
1.1.1. Hőre lágyuló polimerek.....	5
1.1.2. Hőre keményedő polimerek.....	5
1.2. KOMPOZITOK.....	6
1.2.1. Üvegszál gyártása.....	8
1.2.2. Pultrudált profilok.....	9
1.2.3. Üvegszállal erősített műanyag profilok (GFRP- glass fiber reinforced plastic).....	9
1.3. PLAZMA	11
1.3.1. Plazmasugaras felületkezelés folyamata.....	11
1.4. RAGASZTÁS TECHNOLÓGIÁJA.....	13
1.4.1. Ragasztóanyagok	13
1.4.2. A ragasztás technológiája	15
1.4.3. Ragasztás igénybevételei.....	16
1.4.4. Ragasztás előkészületei	17
1.5. REVERSE ENGINEERING (FORDÍTOTT MÉRNÖKI TEVÉKENYSÉG)	17
2. KÍSÉRLETTERV	19
2.1. ESZKÖZÖK, GÉPEK, MÓDSZEREK BEMUTATÁSA	19
2.1.1. Üvegszál erősítésű lapos kompozit profil (GFRP).....	19
2.1.2. Konfokális mikroszkóp	19
2.1.3. Relyon Plasma Plasmatool.....	21
2.1.4. Shinning Freescan UE-11	23
2.1.5. Instron 5900R 4482 típusú elektromechanikai szakítógép.....	24
2.1.6. Bernardo EBS 128C	25
2.1.7. Sikapower4720	25
2.1.8. Nyugvó csepp módszer	26
2.1.9. Nikon D5300 fényképezőgép és Tokina AT-X AF típusú makró objektív	29
2.2. SZKENNELÉS	29
2.3. ELŐKÍSÉRLET LEÍRÁSA ÉS MENETE	34
2.4. A KÍSÉRLET MENETE ÉS LEÍRÁSA	36
3. MÉRÉSEK ÉS EREDMÉNYEI	40
TECHNOLÓGIAI- ÉS IPARI ALKALMAZHATÓSÁGI AJÁNLÁS.....	47
ÖSSZEFOGLALÁS	49
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	50
SUMMARY	51
ÁBRAJEGYZÉK	52
IRODALOMJEGYZÉK	54
MELLÉKLET.....	56

Bevezetés

Napjainkban az ipar számára nagy jelentőséggel bír a fosszilis anyag csökkentése mellett a hatékonyság növelése lehetőleg úgy, hogy mindeközben gazdaságosság szempontjából is megfeleljen az elvárásoknak. A fémek számos kiváló tulajdonsággal rendelkeznek, viszont ezekkel szemben egy nagyon nagy hátránnyal is méghozzá azzal, hogy fajsúlyuk általában magas a többi anyaghoz nézve. Ezt a nehézséget igyekeznek megoldani különféle vizsgálatokkal és minimalista tervezéssel, de egy bizonyos határ alá nem tudják ezt csökkenteni. A probléma orvosolására alternatív anyagok használata lehet a legjobb megoldás, amikkel megvalósítható a szükséges tulajdonságok elérése jelentősen kevesebb súly esetében. Ebbe a csoportba tartoznak a kompozitok, amik lehetnek szénszállal vagy üvegszállal erősítettek. A kompozitok rohamos elterjedése a különféle iparágban a kiváló tulajdonságaiknak és a széleskörű használatainak köszönhető, ami lehetővé tette elterjedését az autóiparban, repülőgépiparban, a sportiparban, a hangtechnikában, a számítástechnikában, az orvos technikában és még számos más területen. [1] [2] A kompozitok felhasználásánál az egyik legfontosabb a szerkezet károsításának elkerülése, ezért az esetek többségében ragasztással kombinálják.

A ragasztás a kompozitokhoz hasonlóan egyre erősebb jelenléttel bír az iparban, mivel az anyaggyengítő eljárásokat, mint például a fúrás egyre inkább háttérbe szorítják a roncsolás nélküli anyagegyesítések, ahol általában oldhatatlan kötést hoznak létre, mivel így elkerülhető az esetleges korrózió vagy a roncsolás miatti tönkremenetel vagy elgyengülés. Ragasztásnál ellenben a csavarkötéssel a felületet elő kell készíteni, illetve a ragasztásnak van egy kötési ideje, így ezeket is bele kell számolni. Viszont a kezdeti hátrányok után hosszútávon megéri a váltás, mivel a kötés létrejötte után további probléma nincs vele.

A ragasztás előtti felületkezelés egyre gyakoribb a mai világban, mivel így a mechanikai tulajdonságait növelhetni lehet, ezáltal a kötés fejleszthető. A modern technológiák közül kiemelném a plazmás felületkezelést, ami az előzetes vizsgálatok alapján igazán nagymértékben tudja megváltoztatni az ipart elég gyorsan.

Kutatásom során a pultrudált üvegszállal erősített profilokon végzek plazmás felületelőkészítést és így szeretném növelni a felületi energiát, amihez egy kézi, kompakt plazma berendezést fogok használni. Majd az elkészült felületeket mikroszkóp alatt és peremszög méréssel a felületi energiaváltozást megvizsgálom. A vizsgálatok után elvégzem a ragasztást és ezeket elszakítva a kapott eredményeket kiértékelem és azután készítek egy technológiai- és ipari alkalmazhatósági ajánlást.

1. Irodalomkutatás

1.1. Polimerek

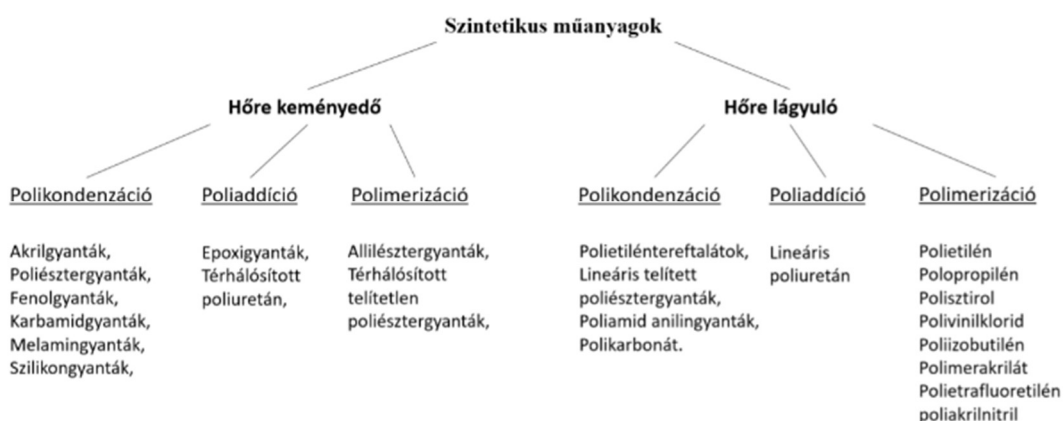
Polimernek nevezünk minden szerves hosszúlancú vegyületet, amelyben több ezer monomer vagyis elemi építőegység kötődik egymáshoz elsődleges kémiai kötéssel. Viszont ez a csoport állandóan növekszik, mivel egyre több anyagot tudnak ebbe a csoportba sorolni. Felfedezések alapján már tudni lehet, hogy a csont, az egész élővilág, az izmok, minden fehérje, a legtöbb szénhidrát és lipid vegyület, mind-mind polimer szerkezetűek.

Történetét tekintve több száz évvel ezelőtt a természetes kaucsukfa nedvéből gyártható gumit alkalmazták a Közép-Amerikai őslakosok különböző vízhatlan takarók, ruhák és ponyvák elkészítésére. A nagy földrajzi felfedezéseknél találkoztak az európaiak először ezzel az anyaggal, viszont áthozatalára a tengeren túlra több mint 200 évet kellett várni. A 18. század második felében kezdték el alkalmazni, majd a 19. század első felében kezdődött meg a nagyüzemű feldolgozása és széleskörű alkalmazása. [1]

A műanyagok berobbanása és elterjedése kedvező tulajdonságaik, olcsóságuk és gyors gyártásuk miatt lehetséges. De mik ezek a tulajdonságok? Fémeknél sokszor előjön a sűrűség és a súly kérdése, mivel a műanyagok sokkal kisebb viszkozitással rendelkeznek ezért használatuk esetén jelentős súlycsökkentés érhető el, ami a mai minimalista világban egy igen nagy előny. Fémeknél a másik nagyon jelentős kérdés a korrózióállóság. [1]

A műanyagok klasszikus értelemben ellenállóak és nem tudnak rozsdásodni, ami felhasználás szempontjából még egy plusz pont. Az előbbieken taglaltak után az előállítás kérdésére rákanyarodva sokkal olcsóbb és gyorsabb a gyártásuk, mint a fémeknek. Elég csak a fröccsöntésre gondolni, ahol a szerszám elkészítése egy elég drága mulatság, de figyelembe véve azt, hogy milliós ciklusokat lehet elvégezni velük már nem is tűnik annyira veszésnek. Az összehasonlítás következő nézőpontja a formaadás. Míg a fémeknél általában az előgyártmányból készítik a készterméket forgácsolással ez a műanyagoknál nem áll fenn, mivel a pontos geometria megalkotása után a megfelelő technológia megválasztása után lehetőség van legyártani a hozzávaló szerszámot, így más megmunkálásra nincs szükség. Ezt sajnos fémeknél legtöbbször nem lehet megtenni, mivel olvadáspontjuk sokkal magasabb a műanyagokhoz képest és az elvárt alakot, formát nem lehet optimális kiönteni. Viszont ezeknél az anyagoknál is elmondható, hogy nem csak előnyei vannak. A polimerek elöregedhetnek, ami egy érdekes folyamat. A környezeti hatások okozta terhelés a műanyagokat is érinti. Az öregedés során megkezdődik a polimerek bomlása ezáltal megváltozik a kémiai szerkezet és a tulajdonságok, ami miatt kevésbé terhelhetők,

kifakulnak és egy idő után rideggé, ropogóssá válnak. Másik hátránya például a rossz hőállóság és ezzel együtt hővezető képesség. Jelentős különbség van a fémek és polimerek olvadáspontja között, ami egyből behatárolja az alkalmazási területüket, mivel 200-300 Celsius fok között található a legtöbb műanyag olvadáspontja, míg mondjuk az acélnak 1400-1500. [1]



1. ábra: Polimerek csoportosítása [2]

A polimereket két fő csoportra lehet osztani és ez a két csoport jelentősen különbözik tulajdonság és feldolgozás szempontjából is. A hőre lágyulókat egyszerű képlékeny alakítási technológiákkal dolgozzák fel, mint például extrúzióval, kalanderezéssel, melegen formázással vagy fröccsöntéssel. Ezzel szemben a hőre keményedő polimerek sokkal kedvezőbb tulajdonságaik miatt előszeretettel alkalmazzák a műszaki világban. [2]

1.1.1. Hőre lágyuló polimerek

A hőre lágyuló polimerek mint ahogy a nevében is szerepel melegítés hatására homogenizált folyadékká válnak. Fagyasztás esetén viszont üvegszerű viselkedés tapasztalható, aminek hatására törés következhet be. Viszont ennél a csoportnál lehetőség van az újrafelhasználásra, ami miatt fordul az elő, hogy ezeknél az anyagoknál a láncon belül erős kémiai kötések vannak viszont a láncokat gyenge kötés tartja össze. Az ilyen tulajdonságú anyagokat hívják reverzibiliseknek. Ez azt jelenti, hogy újra lehet melegíteni, átalakítani és fagyasztani. Ez a tulajdonság a hőre lágyuló anyagokat újrahasznosíthatóvá teszi. [1] [2] [3]

1.1.2. Hőre keményedő polimerek

A hőre keményedő polimerek szemben a hőre lágyulókkal stabilabbak, aminek oka az, hogy több keresztkötés alakulhat ki és több térhálósodási hellyel rendelkeznek. Mivel hőre

keményednek, ezért újraolvasztásra lehetőség nincs. Így elhasználódás után nem lehet őket felhasználni. A selejteket vagy elhasználódottakat általában elégetik. A legismertebb anyagok, amiket a kompozitgyártásban alkalmaznak és ebbe a csoportba tartoznak az epoxi, poliészter, vinilészter és fenol/formaldehid típusú gyanták. [1] [2] [3]

	Epoxi	Fenolplaszt	Poliészter	Vinilészter
Sűrűség [g/cm ³]	1,2 - 1,3	1,2 - 1,4	1,1 - 1,4	1,1 - 1,2
Folyamatosan alkalmazható üzemi hőmérséklet [°C]	80-215	70-250	60-150	-
Húzó modulusz [Gpa]	2,5 - 5,0	2,7 - 4,1	1,6 - 4,1	3,0 - 4,0
Szakadási nyúlás [%]	<9	-	<5	<6
Szakítószilárdság [Mpa]	50-130	35-60	40-90	70-90
Nyomószilárdság [Mpa]	110-210	-	90-200	-
Hajlítószilárdság [Mpa]	110-215	-	60-160	120-140

2. ábra: Hőre keményedő polimerek [3]

1.2. Kompozitok

A kompozitok heterogén anyagok, amelyek két vagy több anyag társításával jönnek létre. A vegyített anyagok a legtöbbször teljesen eltérő összetétellel és alakkal rendelkeznek. A kompozit magját általában egy szívósabb, szilárdabb anyag adja, amit körülvesz a másik alkotó és egyben tartja. A kompozitok lényege az, hogy az alkotók társításával olyan tulajdonságokat lehet létrehozni, amit anélkül nem lehetne elérni. Az esetek többségében a mechanikai tulajdonságok növelése a cél. [3]

Előállítás szempontjából kétféle mód létezik. Az első az, amikor az összetevőket külön-külön készítik el, majd ezeket az elkészítés után társítják és így érik el a készterméket. Viszont ez a módszer a technológia és az alkotó részecskék méretének csökkenése miatt egyre ritkább, mivel sokkal bonyolultabb és nem lehet olyan jó minőséget elérni, mint a másikkal. Ennél a módszert úgy lehet elképzelni, mintha eutektikumot hoznánk létre, vagyis az anyagokat nem készítik el külön, hanem miután a mátrix alkotót elkészítik, akkor körbeveszik a diszperz fázissal és így készül el a végleges anyag. [2] [3]

Kompozitok csoportosítása:

Anyagpárok szerint:

- kerámia-kerámia
- fém-fém

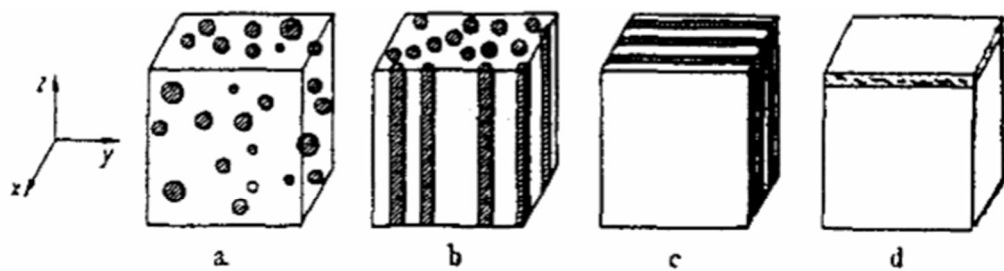
- polimer-üveg
- fém-kerámia [4]

Mátrix szerint:

- Kerámia mátrixú
- Polimer mátrixú
- Fém mátrixú [2]

Morfológia szerint:

- Lemezes (c)
- Szemcsés (a)
- Szálas (b)
- Felületi réteges (d) [2]

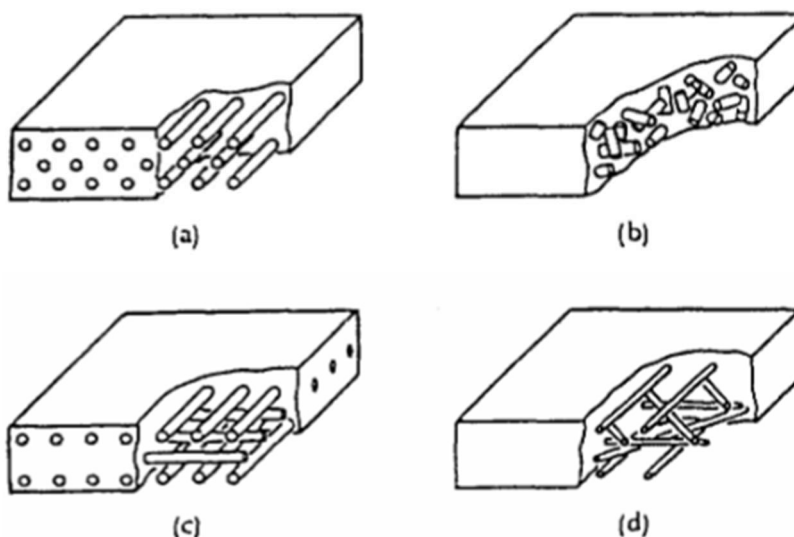


*A kompozitok fajtái:
a / szemcsés b/ szálas c/ lemezes d/ felületi réteges*

3. ábra: Kompozitok csoportosítása morfológia szerint [2]

Szálak elrendezése:

- egymásra merőleges szálak (c)
- folytonos, egyirányú szálak (a)
- véletlen orientációjú rövid szálak (b)
- filc (d) [2]



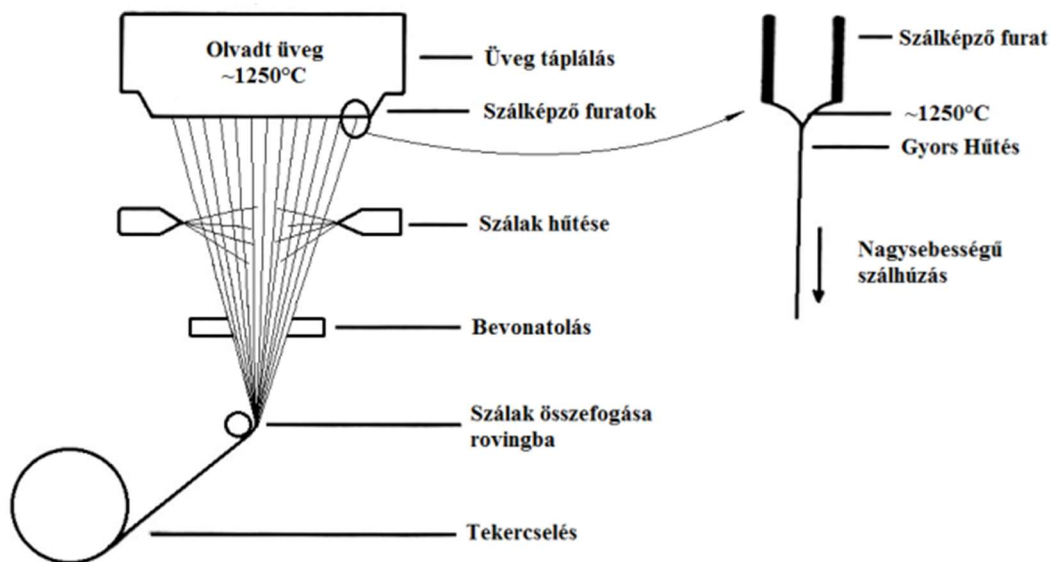
4. ábra: Szál geometriájának szerepe [2]

1.2.1. Üvegszál gyártása

A szilikát alapú (SiO_2) üvegszál olcsósága és nagy szilárdsága miatt az egyik legelterjedtebb polimer mátrixú kompozitok egyike. Az üvegszálak mellett különböző additíveket is használnak, amelyek csökkentik a szilikát olvadáspontját és eltávolítják az esetleges légbuborékokat és a segítik a végleges mechanikai és kémiai tulajdonságok kialakítását. Ilyen adalék lehet például az alumínium, a bór, a kalcium, a magnézium, a nátrium és a kálium oxidjai és szilikátjai. [5]

Az üvegszál gyártásának első lépése az üveg megolvasztása. Ez körülbelül 1400°C -on történik, ahol az üveg eléri a megfelelő állapotát. Az olvadt üveget egy fűtött szálhúzóba vezetik, ahol a kialakított szálképző furatokon körülbelül 50 m/s sebességgel áthúzzák és átnyújtják. Közben levegővel és vízpermettel igyekeznek lehűteni. A felületre ezután a típushoz használt kezelőszert juttatnak. Ezután az elkészült szálakat egy rovingban gyűjtik és tekercselik össze. A szálak átlagos átmérője 5 és 20 μm közötti. Ez a méret függ a szálképző furatok átmérőjétől, az olvasztott üveg viszkozitásától és a nyújtás mértékétől. Így elmondható, hogy a szálak teljesen egyediek, mivel ha ezek közül valamely tényező is más akkor a teljes folyamat is más lesz. [5]

A szilikát alapú üvegszálakra is jellemző a molekulák rendeződése nyújtás esetén, ahogy a szerves polimerekre is. Mechanikai tulajdonságokra előnyösen hat ez a folyamat, mivel a nyújtás során minél nagyobb erővel terhelik őket és közben minél magasabb az olvadék hőmérséklete, annál nagyobb molekulaorientáció érhető el és emiatt a vékonyabb keresztmetszetű üvegszálakban mechanikai tulajdonság javulás érhető el a molekulák nagyobb mértékű rendeződésével. [2] [5]



5. ábra: Az üvegszál gyártás folyamata [5]

1.2.2. Pultrudált profilok

A pultrudálás technológiája az elmúlt több mint 70 évben hatalmas fejlődésen ment keresztül, amelynek köszönhetően a kompozitgyártás vezető eljárásává vált. Ezt a jól automatizálhatóságának, olcsóságának és a rengeteg innovációnak köszönheti, amelyek mind hozzásegítették ehhez. A kezdeti eljáráshoz képest mostanra egy hihetetlenül sokoldalú technológiává vált, amely eljárás széleskörben alkalmazható az ipari elvárásokhoz. Eredetét tekintve a „pull,” és „extrudálás,” szavak összevonásából ered, viszont ellentétben az extrudálással itt a profilt nem tolják, hanem húzzák a szerszámon keresztül. Több oka is van ennek a jelentős változtatásnak. Többek között az, hogy nagysorozat vagy tömeggyártás esetén jobb megoldás a húzás mint a tolás vagy nyomás. Emellett mind költség, mind energiahatékonyság szempontjából kedvezőbb. Mellékesként jobb anyagminőség és ismételhetőségi pontosság is elérhető vele. Kombinálva más eljárásokkal a pultrudálás egy végtelenített és megállás nélküli versenyképes gyártási folyamat lehet, amelyhez hasonló kompozitgyártási technológiát nem ismerünk eddig a percig és ez az az előny, amely kiemeli a többi technológia közül, ami egyedülállóvá és versenyképesé teszi. [4] [5] [6] [8]

1.2.3. Üvegszállal erősített műanyag profilok (GFRP- glass fiber reinforced plastic)

Ezek a kompozitok az acéloknál is nagyobb terheléseket képesek elviselni szálirányban viszont összetett terhelések esetén nem képesek hozni a szálirányhoz hasonló értékeket, vagyis nem képes oly ideálisan elviselni azt. Ezek a kompozitok az előbb említett pultruziós technológiával készülnek. Mint mindenhol ezeknél az anyagoknál is szabványos

profilokat gyártanak az esetek többségében, ez függ attól is, hogy hogy lett a technológiai folyamat beépítve. [4]

A szabványos profilok közé tartoznak:

- L alakú
- lapos
- Rúd
- U alakú
- Cső keresztmetszetű
- T alakú
- H alakú [8]

A szabványos profilokon kívül léteznek szigetelő profilok is, ide tartoznak:

- Hornyos élű
- Kutyacsont alakú
- Sarok [8]

Az elkészült profilok felépítése szempontjából a közepében találhatók egyirányú üvegszálak, amelyek feladata a hosszirányú erők elviselése, míg keresztirányba erősítést kap. Az üvegszálakat egy előre kiválasztott polimerrel tartják egyben, illetve ez is ad egy bizonyos erősítést a profilnak. Majd a legkülső rétegre felviszik az üvegfátyolt, ami tartósságát, UV állóságát és kopásállóságát javítja ezzel még jobbra téve az elkészült profilt.

További előnyei a GRP profiloknak:

- -100°C és 180°C között lehet alkalmazni
- kis tömeg
- önkíoltók és halogénmentesek
- elektromos szigetelő
- vegyszerálló
- korrózió- és kopásállóság
- UV-és kopásálló
- gazdaságos, hosszú élettartam
- nagy szilárdság
- minimális karbantartást igényel
- nem mágnesezhető [4] [8]

1.3. Plazma

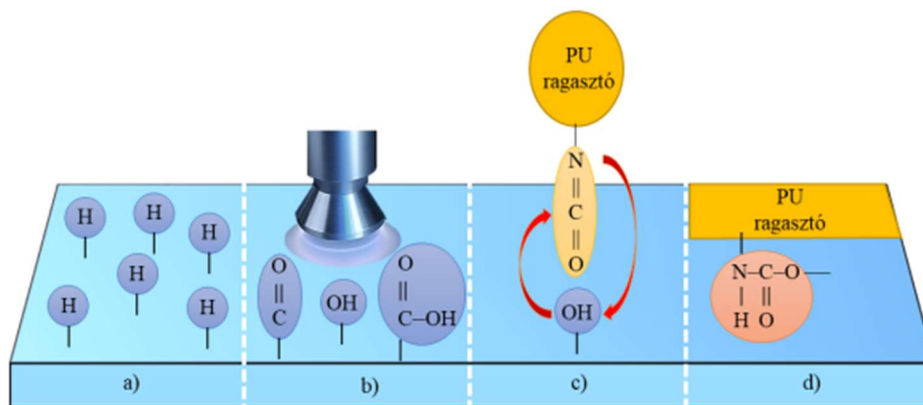
Manapság a legtöbb gyártóiparban látható a polimerek és modern acélok fele történő elmozdulás, mint például a járműiparban, ahol az anyagkárosító eljárások mint például a fűrés és az azt követő csavarozás helyett oldhatatlan kötéseket alkalmaznak előzetes forgácsolás helyett. Ezt segíti elő az alapanyagok rohamos fejlődése és a kötési minőség javulása is. A fejlődés és váltás érdekében a felületkezelési eljárásokat is fejleszteni kell, mint idő, mint felületminőség szempontjából. Alternatív módszereket is figyelembe kell venni mivel nagy potenciállal rendelkező eljárások ezek, viszont eddig kiaknázatlanok. Ezek az eljárások nagyon eltérnek a hagyományosnak mondhatóktól és lehetséges, hogy emiatt nem terjedtek el még, illetve beillesztésük a gyártásba sok fejtörést okozhat a mérnököknek, viszont esetleges darabidő csökkentés esetén érdemes lehet megfontolni az alkalmazásukat. Az ezutániakban szeretném bemutatni a nagy energiasűrűségű eljárások közül a plazmasugaras felületkezelést.

1.3.1. Plazmasugaras felületkezelés folyamata

A plazmasugaras eljárás lehetővé teszi azt, hogy az anyag felületi tulajdonságát megváltoztassuk úgy, hogy közben az esztétikai és tömbi tulajdonságokat nagymértékben nem és ez az a jelentős elv, ami miatt ez az eljárás igazán kapós és értékes eljárás lehet. Esetemben a légekőri nyomású technológiát szeretném bemutatni és alkalmazni, mivel véleményem szerint ez lehet a legalkalmasabb eljárás az iparban, mivel viszonylag olcsó ellenben hatékony és termelékeny eljárás, amellet hogy környezetre nem ártalmas. Ezzel az eljárással a felületek tisztítása, aktiválása és maratása ellenőrizve történhet, így a selejtgőyártás is csökkenthető és figyelhető. A határfelületi kötés jelentősen növelhető a legtöbb anyagnál mint például a kompozitoknál, fémeknél és még a textíliáknál is.

A légekőri nyomású plazma eljárás lényege az, hogy légekőri nyomáson képesek vagyunk vele dolgozni és ezáltal nem szükséges vákuum- vagy nyomáskamra. Emiatt költséghatékonyabb, mint társai és az integrálása a gyártósorra is jelentősen könnyebb. [9] [14] [13]

A felületaktiváltsági szint eléréséhez légekőri nyomású plazma esetén a feszűltség 10 kV-tól 20 kV-ig terjedhet. E tartományban hasonló hullámhosszokat hoz létre mint az UV sugárzás és emiatt létrehozhatja a szabad gyököket és ez a felszíni aktiválódáshoz és a későbbi funkcionálizáláshoz irányulhat. [9] [14] [13]



6. ábra: A plazma felületkezelés hatásának lépései [14]:

- a) a felületi szennyeződések feloldása,
- b) felbontott szennyeződések eltávolítása,
- c) kölcsönhatások létrejötte,
- d) a felület aktiválódása [14] [11]

Levegő esetén a felületi szennyeződések sikeresen eltávolították a felületről és a felületi érdességet is meg tudták változtatni, ezzel javítva a kötés szilárdságát. Nitrogén esetén ezeken felül poláris csoportokat generáltak és így még jobban képesek voltak javítani a felület tulajdonságait. De a legjobb eredményt argonnal tudták elérni, ahol a felületi szennyeződés eltávolításán felül a kötési szilárdságot 182%-kal növelték. [12]

Másik esetben különböző felületkezelési típusokat vizsgáltak és azok hatását a kötések szilárdságára és szívósságára. Ebben az esetben arra jutottak, hogy a PPPT képes tovább javítani a felületi érdességet és ezzel együtt a kötés tulajdonságait pozitívan befolyásolta. [13]

Az egyik kísérlet során szénszál erősítésű kompozitoknál sima acetonos, plazmás és homokszórt felületeket hasonlítottak össze. Az acetonos adta a legalacsonyabb értéket, ahogy számítottak is rá. Viszont a préselt CFRP-nél a plazmás és homokszórt kezelés körülbelül megegyező mértékben javította a kötésszilárdságot, ám a plazmás kezelés eltérve a homokszórthoz képest főként kohéziós tönkremenetelt produkált, míg az utóbbi esetében interlaminális volt. Ez a tönkremenetel rámutat arra, hogy ebben az esetben a szálak károsodhattak és emiatt jött létre ez a fajta hibásodás.

Az autoklávozott CFRP esetében a plazmakezelés jobb eredményt adott, mint a homokszórt nyírószilárdságot tekintve és ezáltal megállapítható, hogy ez az eljárás tekinthető a leghatékonyabbnak.

Peremszög mérésnél a plazmakezelés volt a leghatékonyabb kezelés, mivel ennél volt a legjobb a felület nedvesíthetősége, így a kezelés után a legalacsonyabb peremszögeket itt lehet elérni.

A hibridkötések esetében ugyanúgy az acetonos tisztítás adta a legalacsonyabb értéket, ahogy arra számítani lehetett. Viszont ebben az esetben a homokszórt felület érte el a legnagyobb szilárdságot és ezzel legyőzve a plazmás kezelést. Ebből a vizsgálatból arra következtettek, hogy a kompozit és az alumínium, mint két különböző összetételű és tulajdonságú anyag, illetve az aszimmetrikus kezelés miatt jöhetett létre ez az eredmény. [19]

Kétirányú üvegerősítésű polimer (GRP) kompozit felületi változását és a ragasztott kötés tulajdonságait vizsgálták. A nedvesíthetőségi vizsgálat azt az eredményt adta, hogy a homokszórás és plazmás kezelés jelentősen növelik a felületi energiáját a kezeletlenhez képest.

A vizsgálatnál akrilragasztót használtak és ebben az esetben a homokszórt felület adta a legjobb eredményt. És az érdekesség az, hogy ebben az esetben a kezeletlen felület végzett a második helyen, mivel a plazmás kezelésnél a mechanikai tulajdonságok csökkenését figyelték meg, illetve adhéziós tönkremenetel jött létre, ami arra utal, hogy a ragasztó levált a felületről ergo a felületi tapadása nem volt megfelelő. Ezt a hibát a felület nem megfelelő állapota, a vagy a nem ideális anyag is okozhatta

A leghatékonyabb kezelés a szemcseszórás volt. A felületmódosítás jelentősen jobb tapadást eredményezett a kompozit és az alkalmazott edzett akrilragasztó között; a szemcseszórás követően a meghibásodási szilárdság és a törési energia jelentős növekedését figyelték meg és szemcseszórás plusz szilán kezelés. A légköri plazmával kezelt minták a mechanikai tulajdonságok csökkenését mutatták, ami határfelületi (tapadási) meghibásodást eredményezett. A tartósságot ékesszttel teszteltük. A légköri plazmával kezelt minták alacsonyabb tartósságot mutattak, mint a többi felületkezelés. [20]

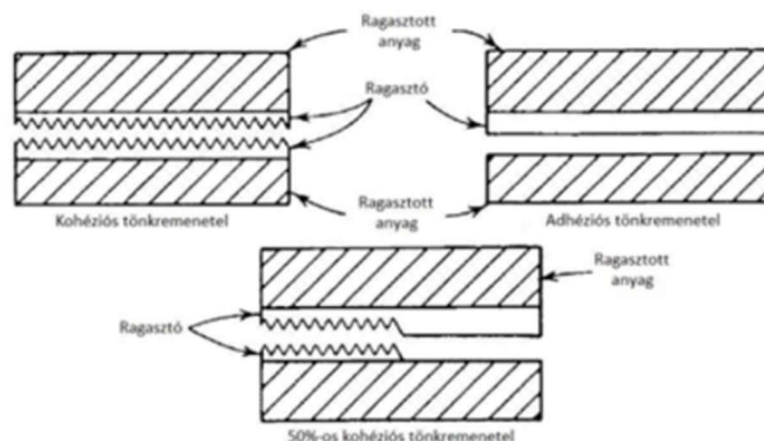
1.4. Ragasztás technológiája

1.4.1. Ragasztóanyagok

„A ragasztók olyan nemfémes anyagok, amik a szilárd anyagok felületét tapadással (adhézió) és a saját szilárdságukkal (kohézió) kötik össze anélkül, hogy az összekötött anyag szerkezeti felépítése és eredeti tulajdonságai számottevően megváltoznának. Ha az összekötendő anyagok ragasztása térben történik (például farostlemez), akkor kötőanyagról beszélünk. [21]

A ragasztók érdekessége az, hogy kezdetben folyékony állagúak a megfelelő szétterülés és nedvesítés érdekében, majd idő elteltével megszilárdulnak és ezzel együtt halmazállapotváltozás is létrejön és ezzel hozzák létre a végleges kötést. A megszilárdulás történhet kémiai és fizikai úton is. Illetve nem mindegy a hőmérséklet sem ezáltal beszélhetünk hideg és melegragasztóról. Esetünkben hidegragasztót fogunk alkalmazni, amely szobahőmérsékleten is képes megszilárdulni, viszont a hőmérséklet növelésével a ragasztási időtartam csökkenthető. Kísérletek alapján 100°C-ig segít a kikeményítés gyorsításában. Ezzel szemben a melegragasztókat minimum 100°C maximum 200°C között szokták alkalmazni. [10]

A ragasztás legfontosabb folyamata az adhézió, más szóval két különböző anyag molekulái között fellépő vonzóerő. Ennek párja a kohézió, ami ellentétben az adhézióval csak egy anyag molekulái között létrejövő vonzóerőt jelenti. Van der Waals erőknél szokták nevezni ezt a két vonzóerőt. Mivel ez a két vonzóerő van jelen a ragasztásnál ezért tönkremenetel csak kétféle lehet kohéziós vagy adhéziós.



7. ábra: A tönkremeneteli módok [3]

Adhéziós tönkremenetel akkor jön létre, ha az összeragasztott felületek valamelyikéről a ragasztó leválik. Ezzel szemben kohéziós tönkremenetel akkor lesz, ha a ragasztó nem fogja bírni és a szerkezetében jön létre a szakadás. Ilyenkor az adhéziós erő nagyobb, mint a kohéziós és ezért jön létre ez a tönkremenetel.

Összetétel szempontjából a ragasztók lehetnek egy- és kétkomponensű összetételűek. Az egykomponensűeknél nincs előkészület, vagyis a ragasztót felbontják és lehet is használni. Ilyen ragasztó például a háztartásokban a pillanatragasztó. A kétkomponensűnél viszont szükséges az előkészület, mivel a gyártó által előírt arányban kell összekeverni az alkotókat ahhoz, hogy a ragasztás sikeres legyen. Ez az összekeverés a hidegen

kezelhetőeknél történhet speciális keverőszárral vagy műanyag edényben. A melegen kezelhetőeknél speciális szabályozható hőmérsékletű tégely szükséges és itt az összekeverés egy lassú folyamat, mivel a buborékok számát minimalizálni kell a minél ideálisabb ragasztóanyag elérése érdekében. Illetve a kikeverés után pihentetési időre is szükség van. [10]

A ragasztókat többféleképpen is lehet csoportosítani. A csoportosításuk történhet pl. eredetük, megjelenési formájuk, komponens számuk, igénybevételük, környezeti ellenállóképességük, felhasználási céljuk, fizikai/kémiai tulajdonságuk és kötési módjuk szerint is.



8. ábra: A ragasztók csoportosítása [4]

A ragasztók korai változataikat már több ezer évvel ezelőtt használták. Ezek általában lakkból és enyvből álltak. Viszont a fejlődésük nagymértékben a 20. században történt meg.

A manapság használt ragasztók a 20. század második felében találták fel és kezdődött el a fejlődésük, párhuzamosan a vegyiparral. A hőre lágyuló, szintetikus ragasztók gyártása ekkoriban kezdődött. [11]

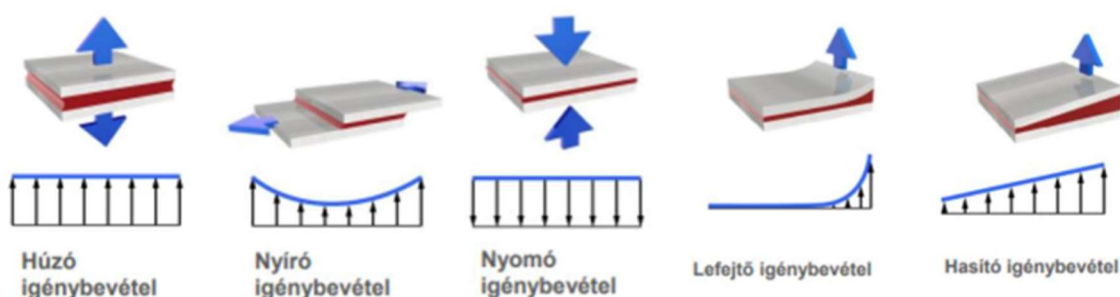
1.4.2. A ragasztás technológiája

A ragasztás a nem oldható kötések (korlátozottan oldható) csoportjába tartozik. Fő előnyei közé tartozik az, hogy a létrejött kötés jó zajcsökkentő, szigetelő és rezgéscsillapító, illetve a kötés létrehozásánál a hegesztéshez és forrasztáshoz képest nem közlünk hőt az anyagokkal. A ragasztóanyaggal lehetőség van két azonos vagy két különböző szerkezetű anyag egyesítésére is, így a kötés létrehozható fémes vagy nem fémes anyag között is. A ragasztás sok esetben helyettesíteni vagy kiegészíteni tudja a hagyományos kötési eljárásokat mint például csavarkötést, szegecseletést, forrasztást, hegesztést stb. Ez nem véletlen, mivel sok előnye van ennek a kötési módnak. Ezek közé tartozik a terhelés egyenletes elosztása, ami miatt nincs feszültséggyűjtő pont és feszültség sincs. Jó minőségű

felületet lehet kapni a ragasztás után, mivel a felesleget el lehet távolítani. Korrodálni nem tudnak és ellenállóak a vegyszerekkel szemben. Méret szempontjából különböző méretű anyagokat lehet összeragasztani. Telepítési szempontból olcsó és könnyű beintegrálni a gyártásba és nem igényel szakképzett munkásokat. [4] [14]

1.4.3. Ragasztás igénybevételei

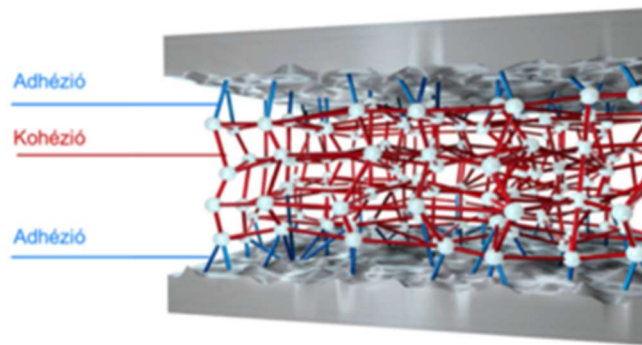
Még mielőtt ragasztanánk végig kell gondolni, hogy milyen erők fognak a kötésre hatni, hiszen ez jelentősen befolyásolhatja a kötés tulajdonságait. Például húzó igénybevételnél a szakítószilárdság kicsi, mivel az adhéziónak tapadás is gyenge, míg lefejtőnél nem az egész felületre hat az erő hanem egy csíkra, ezért a kötés tulajdonságai itt a leggyengébbek.



9. ábra: A ragasztási felületen létrejövő különböző terheléstípusok és azok feszültségeloszlásai [11]

Miután megnéztük a legrosszabb igénybevételeket most a kötés szempontjából jobbakra rátérünk. A legideálisabb a nyíró igénybevétel lenne, de a nyomó és csavaró igénybevétel is megfelelő lehet. Természetesen a tulajdonságokat erősen befolyásolja a ragasztótípusától kezdve a felülettisztításon át egészen a rétegvastagságig minden így egyértelműen nem lehet kijelenteni, hogy a tulajdonságok hol lennének a legjobbak.

A ragasztott kötés létrejövételt akkor lehet megfelelőnek nevezni, ha az adhéziónak erői legalább akkorák, mint a kohéziós erők. Ezáltal szakítás során két lehetséges végkifejlet lehet szakadás vagy törés. Ezek megfelelő ragasztott kötésnél nem a határfelületen fognak keletkezni, hanem a ragasztandó darabban vagy a ragasztóban.



10. ábra: Ragasztásnál fellépő erők [11]

1.4.4. Ragasztás előkészületei

Ragasztáskor a művelet sikeressége miatt a ragasztandó felületeket előtte meg kell tisztítani, mivel így eltávolítjuk a felületéről a szennyeződések, mint például zsírokat, porszemeket, oxidokat. A tisztítás történhet alkohollal, metanollal vagy akár tisztító sprayvel is. A másik lehetőség a felületérdesítés mivel ebben az esetben teljesen megváltoztatjuk a felületét és ezzel együtt eltávolítjuk a felületi szennyeződések is. Ilyen felületérdesítési mód a csiszolás vagy a szemcseszórás.

A felület vizsgálatát a nedvesítő képességgel nézik meg, mivel a felületi energia meghatározásával előre meg lehet mondani a ragasztás sikerességét, mivel minél nagyobb az anyag felületi energiája annál kevésbé képes a ragasztó nedvesíteni a felületet és annál sikertelenebb a kezelés.

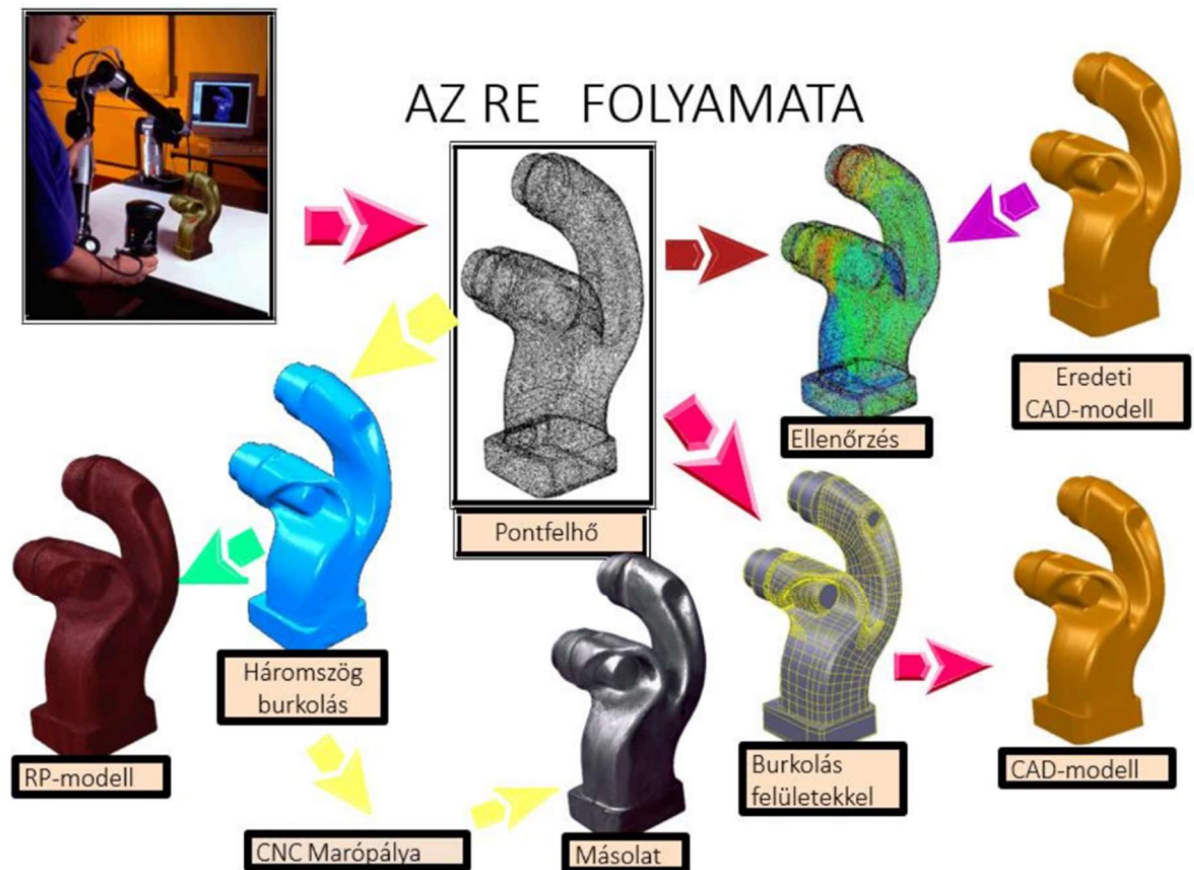
A felületkezelés történhet mechanikai, kémiai, bevonatolósos, lézersugaras és plazmasugaras módszerrel. A kezelési módszert az anyag határozza meg, mivel nem minden kezelést lehet minden anyagnál használni. [4]

1.5. Reverse Engineering (Fordított mérnöki tevékenység)

A reverse engineering magyarra lefordítva fordított mérnöki tevékenységet jelent. Vagyis a tervezési folyamatot megfordítjuk és a végtermékből kiindulva igyekszünk visszamodellezni és meghatározni a geometriáját.

A Reverse Engineering lépései:

- szkennelés
- pontfelhő létrehozása
- pontfelhők egyesítése
- burkolás, felületillesztés
- ellenőrzés, korrigálás
- gyártás [12]



11. ábra: A Reverse Engineering folyamatai [12]

A fordított mérnöki tevékenységre több esetben is szükség lehet. Egyik legjellemzőbb esete a művészeti, szobrászati alkotások bemodellezése. Ezek esetében sajnos az esetek többségében nem áll rendelkezésre több darab. Ezek digitalizálása és ezáltal másolatkészítés manapság egyre jelentősebb folyamat. Új tervek, mesterminták esetén is az előbb említett probléma áll fenn. A számítógép térhódítása előtti alkatrészek, tervek digitalizálása a másik jelentős része eme tevékenységnek. [12]

Nagy előnye ennek a tevékenységnek az, hogy „gyors” folyamatnak lehet nevezni, hiszen a teljes tervezési folyamatához képest sokkal kevesebb ideig tart.

A Reverse Engineering alkalmazási területei:

- Autóipar
- Digitalizálás
- Érme- és értékpapírgyártás
- Gyors prototípusgyártás
- Orvosi gyógyászati eszközök [12]

2. Kísérletterv

Ebben a fejezetben bemutatom az elő- és a valós kísérletekhez használt eszközöket és a kísérletek módszerét, technológiai paramétereit és az eredményeit.

A kutatásom során ebben a témában elég kevés kapcsolódó kísérletet találtam, mivel inkább a kedvezőbb tulajdonságú szénszál erősítésű kompozitokkal kísérleteztek. Ám a talált irodalmaknál ugyanúgy légköri plazmás felület előkészítés történt, amiknél több gáz halmazállapotú elemmel próbálkoztak és különböző eredményekre jutottak. A kísérletekben nyírásnak tették ki a kötést és úgy vizsgálták a szilárdságát. Ezek a kísérletek változó eredményt hoztak, így egyértelműen nem lehet eldönteni, hogy esetemben mi lesz a kísérlet végeredménye.

2.1. Eszközök, gépek, módszerek bemutatása

Legfontosabbnak a gépek, eszközök és módszerek bemutatását tartom, amiket használtam a kísérletek során, mivel a megismételhetőség miatt ezek kulcsfontosságúak.

2.1.1. *Üvegszál erősítésű lapos kompozit profil (GFRP)*

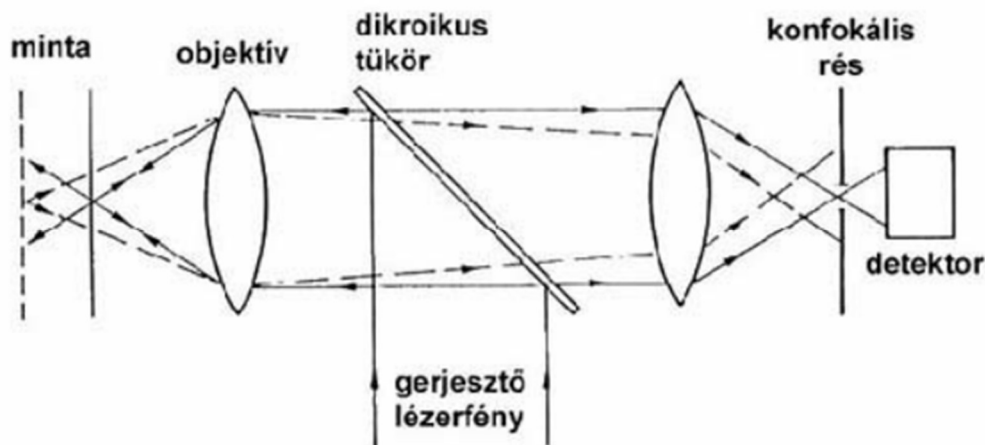
Az általunk használt 2302267-os számú anyag műszaki adatai:

- Száma: P2397
- Mérete: Flat 100x4 ISO 7016 V
- Gyártási idő: 2023.09.14.
- Üvegtartalom: 64%
- Barcol: 48
- ATH: 21,8%
- Az alap gyanta fajtája: ISO NPG

2.1.2. *Konfokális mikroszkóp*

Konfokális elv

Ennek a képalkotási módszernek a lényege az, hogy csak a fókuszsíkból jövő fényt érzékeli a rendszer.



12. ábra: Konfokális rendszer felépítése [13]

A hagyományos mikroszkópokkal ellentétben, ebben az esetben csak a minta egy pontját világítjuk meg, míg a hagyományosnál egy bizonyos területet. Emiatt jobb felbontású és minőségű képek készíthetők ezzel az eljárással.

A fényforrás fényét az objektív lencse a minta egy pontjára fókuszálja és a mintáról visszavert fényt az objektív összegyűjti, ez az adottfókuszpontban összpontosul és így jut a detektorba. Az esetleges kívülről érkező fényeket szinte teljesen kizárja, mivel azok nem a fókuszpontba tartanak az objektív kialakítása miatt. [13]

Mivel egy egy pontot világítunk meg így a felület feltérképezéséhez és a képalkotáshoz végig kell pásztázni a felületet, ehhez pásztázó nyalábot kell alkalmazni. A detektor a fény intenzitásokat méri és ezek alapján a számítógép és a program képes összetenni a végleges felületet és képet. [13]

Mikroszkópoknál a felbontás nagysága az egyik legfontosabb paraméter. Az esetek többségében a konfokális nagyobb felbontással rendelkezik és ezáltal jobban nagyítható emiatt, mivel a felbontás nagysága a részletességet és a kép minőségét erősen befolyásolja.

A felbontó képesség azt jelenti, hogy két közeli de különálló tárgyat képes-e úgy mutatni, hogy különállónak veszi. A konfokális ebben az esetben jelentősen jobban teljesít a hagyományosokhoz képest.



13. ábra: A vizsgálatokhoz használt konfokális mikroszkóp [14]

A vizsgálatokhoz az Olympus LEXT OLS5000 típusú 3D lézeres mérő mikroszkópját használtuk. 2017 második felében mutatták be. Lézerfényrel pásztázza a próbatest felületét. Rendelkezik 5,10,20,50,100-szoros objektívvel, amiknek segítségével hatékonyan lehet tanulmányozni a felületet. 405 nanométeres hullámhosszú fényforrással szerelték fel, amivel képes a 4096 pixeles 4K szkennelési technológiával. A gépbe maximum 210 milliméter magyar mintákat lehet behelyezni. Magasságállítása egyszerű, mivel az oldalán található görgővel lehetséges.

2.1.3. Relyon Plasma Plasmatool

A felületkezeléseket a Relyon Plasma márkájú Plasmatool nevű kézi készülékével hajtottuk végre. Az eszköz ugyanúgy mint minden háztartási gép 230V-os tápellátást igényel. Emiatt bárhol használható, ahol be lehet dugni. A kocii főegységet és a fejet 7 méter hosszú szövetkábel köti össze, ami miatt mobilis és rugalmas munkavégzést tesz elérhetővé.

Használata könnyen megtanulható és nem igényel speciális tartozékot vagy képzést. Levegő szempontjából teljesen önellátó vagyis nem szükséges levegőtápegység. A levegő beszívása után a főegységben történik a sűrítés és gerjesztés. A gépet kétkezes működtetéssel lehet használni és a biztonság érdekében jelzőlámpa figyelmezteti a kezelőt és a harmadik személyeket.

A felület optimalizálása a ragasztás vagy nyomtatás előtt fontos. A kézi plazmatool szükségtelemmé teszi a kémiai alapozókat vagy a mechanikai kezeléseket. Jobb nedvesíthetőség és tapadóerő érhető el olyan alkatrészekben, amelyek mérete vagy mobilitása miatt nem kezelhetők automatikusan.

Alkalmazási területek

- repülőgépipar
- túlméretes alkatrészek
- autóipar
- kissorozat vagy egyedi gyártás
- karbantartási és javítási munkák [15]

plasmatool



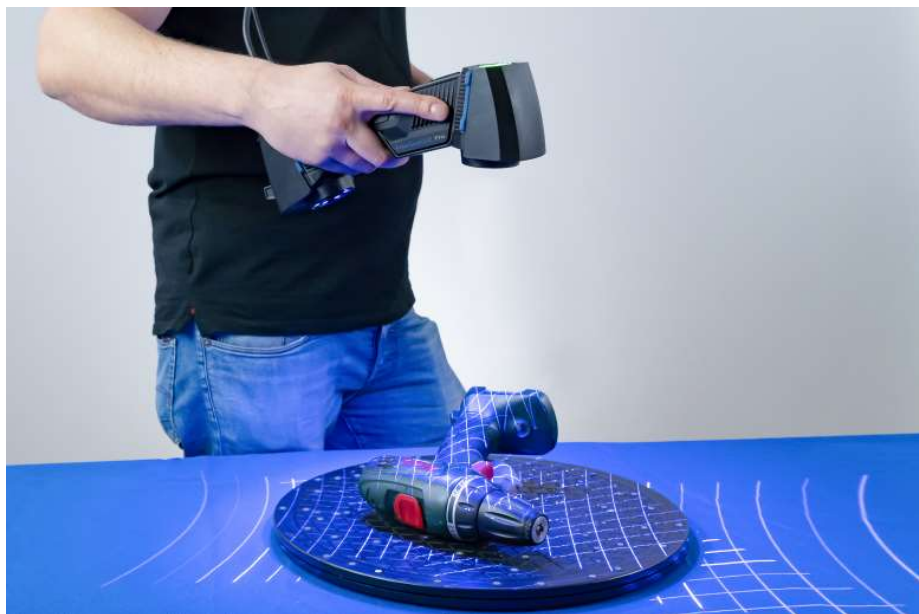
14. ábra: A kísérlethez használt plazma berendezés [15]

Lehetséges alkalmazások közé tartozik a különböző anyagok felületeinek aktiválása a ragasztási, festési, nyomtatási és bevonási folyamatok előtt, illetve a rozsdá és a festék eltávolítása a karbantartás és javítás előtt. [15]

2.1.4. Shinning Freescan UE-11

Shinning Freescan UE11-es típusú szkennelőt használtam és a hozzátartozó Freescan programot.

A kék lézer 3D szkennер egy fejlett technológia, amely kék lézer fényforrást használ a tárgyak, felületek rendkívül részletes és pontos háromdimenziós ábrázolásához. Ez a szkennelési technológia számos iparágban, többek között a gyártásban, az építészetben, az egészségügyben és a mérnöki munkában is kiemelkedő szerepet kapott. Gyakran alkalmazzák szobrok és kulturális alkotások beszkennelésére, mivel képes pontos és részletes három dimenziós test készítésére. [16]



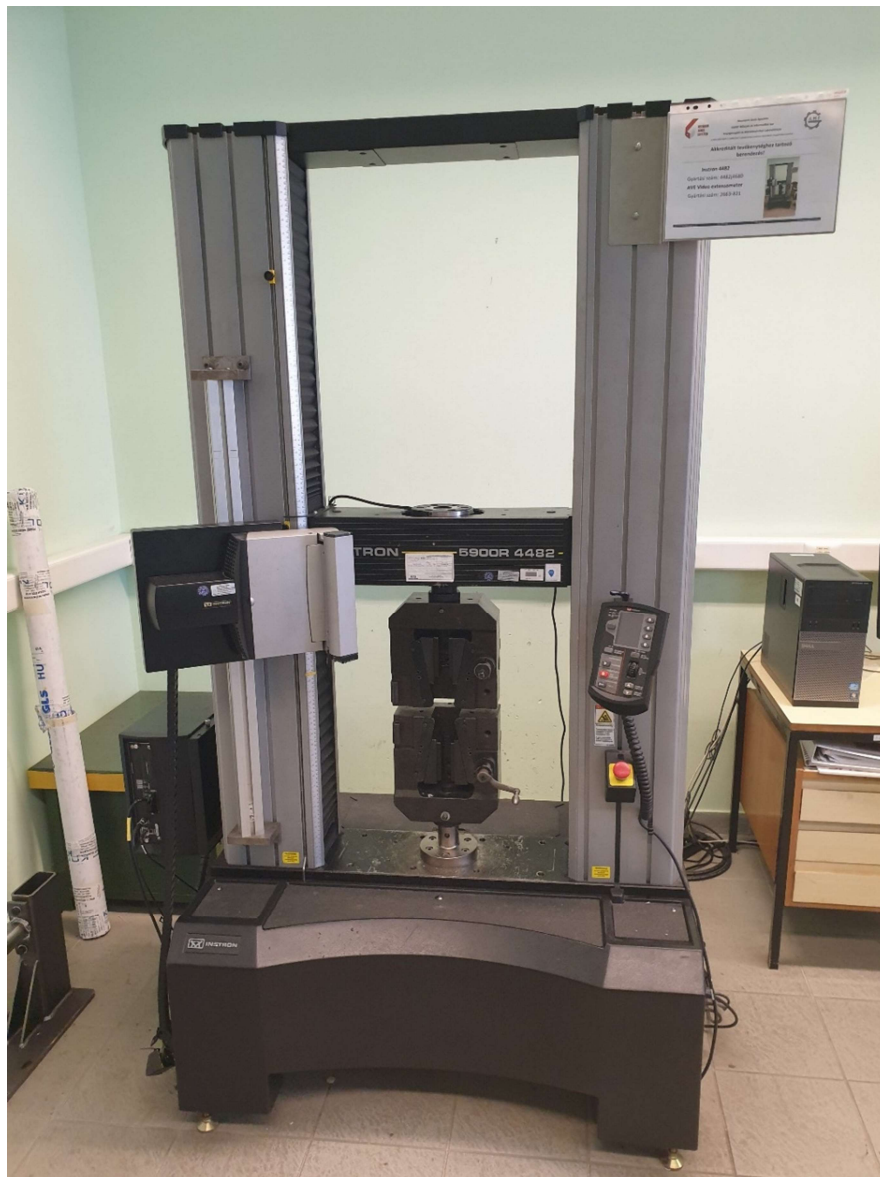
15. ábra: A kísérlethez használt szkennер működés közben [16]

A kék lézer egyik legjelentősebb előnye az pont a lézer színe, mivel a kék lézerek rövidebb hullámhosszúak mint a többi és emiatt pontosabb és szebb felületet tudnak alkotni. Emellett képesek rendkívül összetett és fényvisszaverő felületek beszkennelésére. A környezeti fényviszonyok se befolyásolják jelentősen a a készüléket és ezért lehet egyszerre alkalmazni kültéren és beltéren is. Viszont ezek az igen jelentős előnyök mellett a folyamat nem igényel rengeteg időt, igen gyorsan lehet szkennelni vele. Ezek a tulajdonságok mellé még hordozható, kompakt méretű a készülék. Esetünkben kábellel kell rögzíteni a laptop-hoz és így tud kommunikálni és rögzíteni a programba a szkennelt felületet. A kék lézerszkennerek által gyűjtött 3D-adatok egyszerűen feldolgozhatók és elemezhetők speciális szoftverrel, lehetővé téve a felhasználók számára, hogy értékes betekintést és méréseket nyerjenek a beolvasott objektumokból vagy környezetekből. [16]

Összefoglalva, a Blue Laser 3D szkennerek olyan élvonalbeli eszközök, amelyek kiemelkedő pontosságot és részletességet biztosítanak, így nélkülözhetetlen eszközök olyan iparágakban, ahol a pontosság és a megbízhatóság a legfontosabb. Alkalmazkodóképességük és sokoldalúságuk alkalmassá teszi őket a felhasználás széles skálájára, és a komplex és fényvisszaverő felületek kezelésére való képességük megkülönbözteti őket a 3D szkennelési technológia területén.

2.1.5. Instron 5900R 4482 típusú elektromechanikai szakítógép

A szakítások elvégzéséhez ezt a típusú szakítógépek használtam, amely 100 kN-os erőmérő cellával van felszerelve. A mérési eredményeket a számítógépes programban rögzíthetők és kiértékelhetők. [17]



16. ábra: A vizsgálatok elvégzéséhez használt szakítógép [17]

2.1.6. Bernardo EBS 128C

A lapos profilok fűrészeléséhez a Bernardo EBS 128C fűrészgépet használtam, aminek számos előnye közé tartozik az automatikus megállás az anyagátvétel után, a robosztus kialakítás miatti vibrációmentesség vagy az állítható vágási sebesség. [18]



17. ábra: A használt fűrészgép [18]

2.1.7. Sikapower4720

A SikaPower4720 egy fémek és kompozit ragasztására tervezett kétkomponensű, nagy szilárdságú, epoxi bázisú ragasztóanyag, amely kiemelkedő tapadással bír a legtöbb felületen. Térhálósodása szobahőmérsékleten történik. A ragasztóban üveggyöngyöket helyeztek el, amiknek a feladata az egységes 0.25 milliméter vastagságú ragasztó vastagság tartása. 2:1 arányban kell keverni, amit a hozzá kapott keverőpisztoly segítségével lehet megtenni. Kinyomópisztollyal kompatibilis a könnyű használat érdekében. [19]



18. ábra: A kísérletekhez használt ragasztószett [19]

Komponensek	SikaPower-4720 A komp	SikaPower-4720 B komp
Vegyí bázis	epoxi	amin
Szín (CQP ¹ 001-1)	fekete	barna
Sűrűség (CQP 006-4)	kb. 1,08 kg/dm ³	kb. 1,13 kg/dm ³
Keverési arány	A:B térfogat szerint 2 : 1	
Alaktartás	jó	
Feldolgozási hőmérséklet	+10 - +30 °C	
Nyitott idő ² (CQP 580-1, -6)	60 perc	
Mixer nyitott ideje ²	30 perc	
Rögzítési idő ^{2/3} (CQP 580-1, -6) 1 MPa eléréséhez szükséges idő	4,5 óra	
Kötési idő ² a szilárdság 80%-a	24 óra	
Shore D keménység (ASTM D-2240)	kb. 80	
Húzószilárdság (CQP 580-5)	kb. 24 MPa	
Young – Modulus (CQP 580-1, -6)	kb. 1900 MPa	
Szakadási nyúlás (ASTM D-638)	kb. 3%	
Húzó-nyíró szilárdság ^{2/3} (CQP 580-1, -6)	kb. 14 MPa	
Útésszilárdság (CQP 580-1, -3)	5 N/mm	
Üvegesedési hőmérséklet (ASTM E-1640)	73 °C	
Hőállóság (CQP 513-1) 1 óra	190 °C	
Felhasználási hőmérséklet	-30 - +120 °C	
Tárolhatóság (+5 °C és +30 °C között) (CQP 016-1)	24 hónap	

¹⁾ CQP = Corporate Quality Procedure (Belső vizsgálat)

²⁾ 23 °C / 50% relatív páratart.

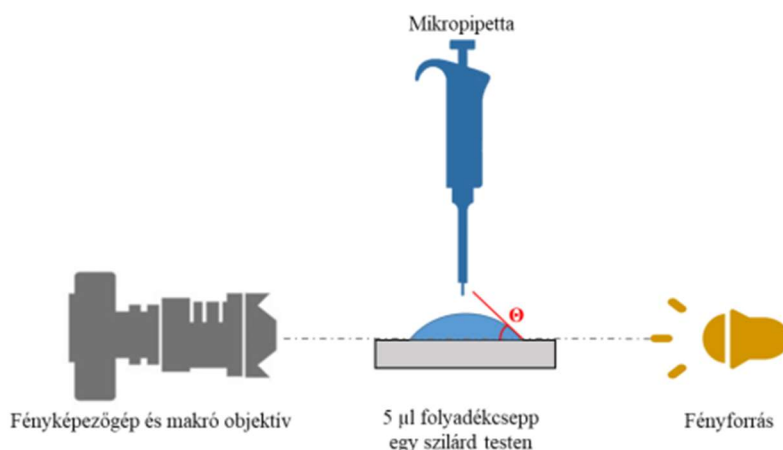
³⁾ 0,8 mm-es DC04 típusú acél felület

19. ábra: A Sikapower4720 műszaki adatai [19]

2.1.8. Nyugvó csepp módszer

A próbadarab nedvesedőképességét a meghatározott folyadék szétterülésével lehet leírni. Ennek a két fázis érintkezésénél létrejövő peremszög a mérőszáma. A Young által leírt összefüggés a peremszög és a felületi energia között teremt kapcsolatot, ami a mai napig jelentős észrevétel. A próbadarab és a folyadék határfelületén létrejövő kölcsönhatás határozza meg a szétterülést. [14]

A peremszög meghatározására az esetek többségében a nyugvó csepp módszert használják, ahol a csepp egyik oldalán egy makró fényképezőgép, a másik oldalán egy fényforrás található és ezek közt történik a lényeg, vagyis 5 µl folyadékot felszívjuk a mikropipettába. Azért esett erre a mennyiségű folyadékra a választás, mert több szakirodalomban is találkoztam ezzel a mennyiséggel és így összehasonlítható lesz a többivel. [14] Ezek után kinyomjuk és így létrehozuk a cseppet. A tárgyasztalt, amin található a próbadarab lassan elkezdjük közelíteni. Amikor összeérnek, akkor a csepp a próbatest felületére átkerül, és ott szétterül. Viszont arra figyelni kell, hogy a csepp ne essen a felületre, mivel akkor teljesen máshogy fog viselkedni a folyadék. [14]



20. ábra: A nyugvó csepp módszer sematikus ábrája [21]

A cseppet ezután lefényképezzük és a szoftver segítségével lehetőség van a peremszög meghatározására. Ezt úgy csináltam, hogy a bal és jobb oldalát összekötöttem, majd a vonal és a csepp találkozásából egy vonalat húztam úgy, hogy érintőleges legyen a cseppre.

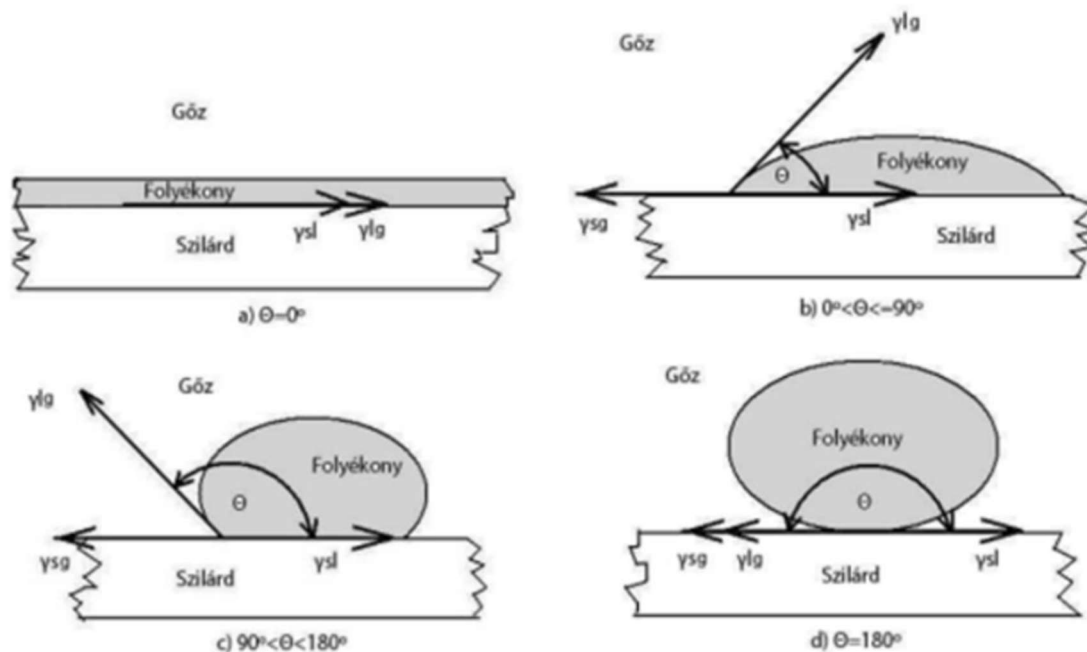
A mérés egyik legfontosabb szabálya az, hogy a mérést rögtön a felületkezelés után kell elvégezni, mivel a felületi energia az idő teltével csökkenni fog.

Az előkísérletek, majd a tényleges kísérletek esetében is a cseppentéseket $22 \pm 1^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten végeztem. A páratartalom pedig 30-50% között mozgott, ami a szakirodalmak alapján alkalmas.

Nedvesítési peremszögek határértékei

Teljes nedvesítés (peremszög = 0°)

A nedvesítő folyadék kiválóan nedvesíti a felületet. Ez akkor jön létre, ha az adhéziónak legalább a kétszerese a felületi feszültségnek. Ilyenkor az adhézió erőssége nagy és a monoatomos rétegekben az olvadékot a szilárd fázis felületére juttatja. Ekkor a szilárd fázis felületi feszültsége nagyobb az olvadék felületi feszültségénél.



21. ábra: Nedvességi peremszögértékek alakulásának a lehetőségei szilárd fázisra helyezett folyadékcsepp esetén [3]

Részleges nedvesítés (A peremszög 0° és 90° között van)

Az adhéziós energia erős és az olvadékot a szilárd fázishoz igyekszik juttatni. Itt még az olvadék nedvesíti a szilárd fázist, de a határfelületi energia kisebb mint kétszerese.

Részleges, nem megfelelő nedvesítés (A peremszög 90° és 180° között van)

Itt az olvadék nem nedvesíti a szilárd fázist, illetve az adhéziós energia kisebb a határfelületi energiánál.

Zéró nedvesítés (a peremszög értéke 180°)

Nincs adhézió a két felület között, ezáltal nem történt nedvesítés. A szilárd fázis egy ponton érintkezik az olvadékkal.

A nyugvó csepp módszer menete:

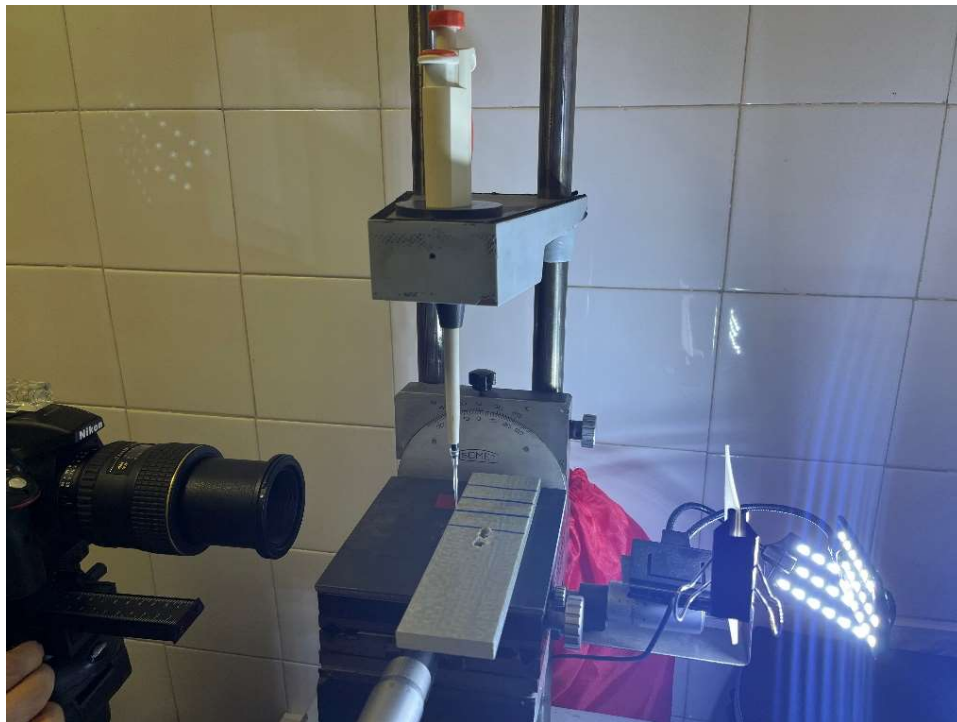
1. A próbadarabot elhelyezem a tárgyasztalon
2. A pipetta összeszerelése
3. 5 μ l desztillált víz felszívása a pipettába
4. Pipetta behelyezése a tartójába
5. A desztillált víz kinyomása
6. A tárgyasztal felemelése a pipetta hegyéhez
7. A tárgyasztal visszaállítása alaphelyzetbe
8. Kép készítése a cseppről

9. Képek áthelyezése számítógépre

10. A fényképek kiértékelése

2.1.9. Nikon D5300 fényképezőgép és Tokina AT-X AF típusú makró objektív

A cseppentések dokumentálásához egy Nikon D5300-as tükörreflexes digitális fényképezőgépet használtam és mellé Tokina AT-X AF 100mm f/2.8 típusú makró objektív lett felhelyezve.

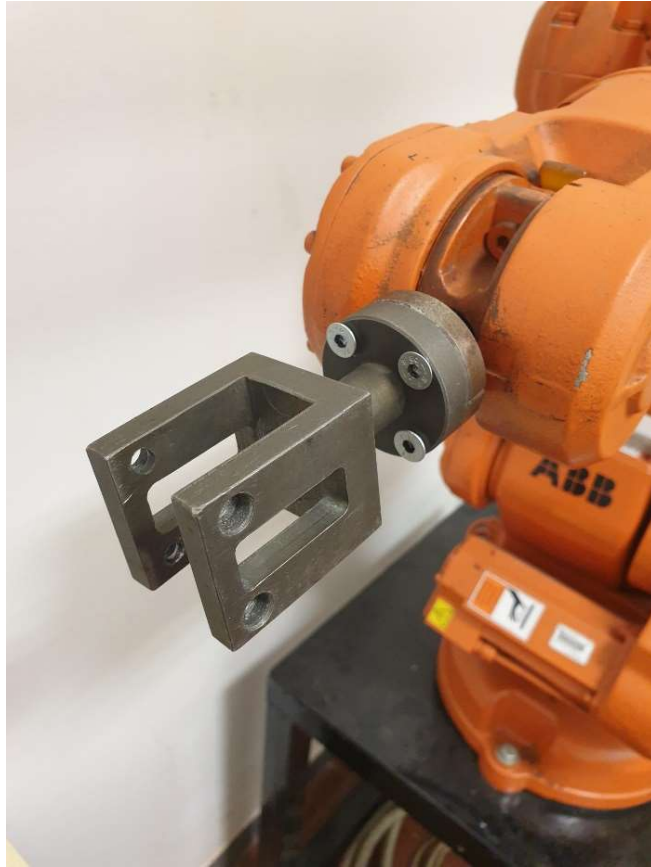


22. ábra: A nyugvó csepp módszeres mérés elrendezése

2.2. Szkennelés

A kísérletek megtervezésénél belefutottam egy kisebb, de mégis jelentős problémába, amely megoldása kulcsfontosságú volt. Ez a probléma pedig a következő volt a kézi plazmapisztoly, mint a neve is tükrözi kézi eszköz, amellyel sokkal egyszerűbben és gyorsabban lehet elvégezni az esetleges kezelést. Viszont ami az előnye az a hátránya is mivel számomra a kísérletek esetében a megismételhetőség az egyik fő pont, aminek megléte igen jelentős.

Konzulensemmel, szaktársammal és az Anyagtechnológiai Tanszék munkatársaival arra jutottunk, hogy ezt a problémát úgy lehetne a legegyszerűbben megoldani, hogyha az egyetem tulajdonában lévő egyik robotra szerelnénk fel a plazmapisztolyt és a kábelét pedig elvezetnénk megfelelően.



23. ábra: A robot felfogó része

Erre az ABB robotra terveztem meg a felfogót, aminek feladata a plazma pisztoly rögzítése, mivel a kísérletek során nagyon fontos, hogy ugyanolyan szögben lehessen a felületeket kezelni és ez által megismételhető legyen a kísérlet, illetve a kézi berendezés használatának egyszerűsítése is a cél. Ezt a robotot eleve felületkezelések végrehajtására szokták használni, így a felfogatórésze már adott és ehhez a két furathoz kell igazítanom az alaplapot, mivel csak így tudom majd rögzíteni.

A folyamatot azzal kezdtem, hogy a berendezést átvittem az additív laborba, ahol a bemutatott Shinning Freescan UE11 típusú szkennerral és a hozzá tartozó programmal négy nézetből beszkennelem a pisztolyt. Ezt úgy csináltam, hogy a markerekkel teli asztalra tettem és véletlenszerűen markereket ragasztottam a pisztolyra, ez a szoftvernek kell, mivel így távolságot és helyzetet tud kötni hozzájuk és könnyebb lesz a különböző nézetek összefűzése.



24. ábra: A plazmapisztolyról készült különböző nézetek

Több nézetből történő beszkenyelés után ezeket elmentettem és a szoftver segítségével összeillesztettem. A beszkenyelésnél nagy figyelmet kell arra fordítani, hogy a későbbi összefűzésnél a több nézetből elkészített projekteknel legyen közös felület, mivel az jelentősen megkönnyíti az egész folyamatot.



25. ábra: Az összefűzött plazmapisztoly

Az beszkenyelt nézeteket a markerek és a jellegzetes pontok segítségével összeillesztettem. Az összeillesztés lehet gépi vagy kézi. A szoftver felméri a beszkenyelt részeket és igyekszik egyezéseket találni, amiket összeköt és így tudja összefűzni a

nézeteket. Ez általában jól működik és hatékony, de a pontosság miatt én inkább a kézit választottam, ahol én határozom meg a jellegzetes pontokat és jelölöm ki a nézeteken. Ez lassabb folyamat, de pontosabb, ami ebben az esetben fontos volt.



26. ábra: Lyukak és rések befedése utáni összefűzött plazmapisztoly

Az összefűzés után a lyukakat a program segítségével betöltöttem és a markereket eltávolítottam és ezzel a szkennelés végére értem. A pontfelhőt megfelelő formátumban lementettem, odafigyelve arra, hogy stl fájlból többfajta van.



27. ábra: A létrehozott pontfelhő

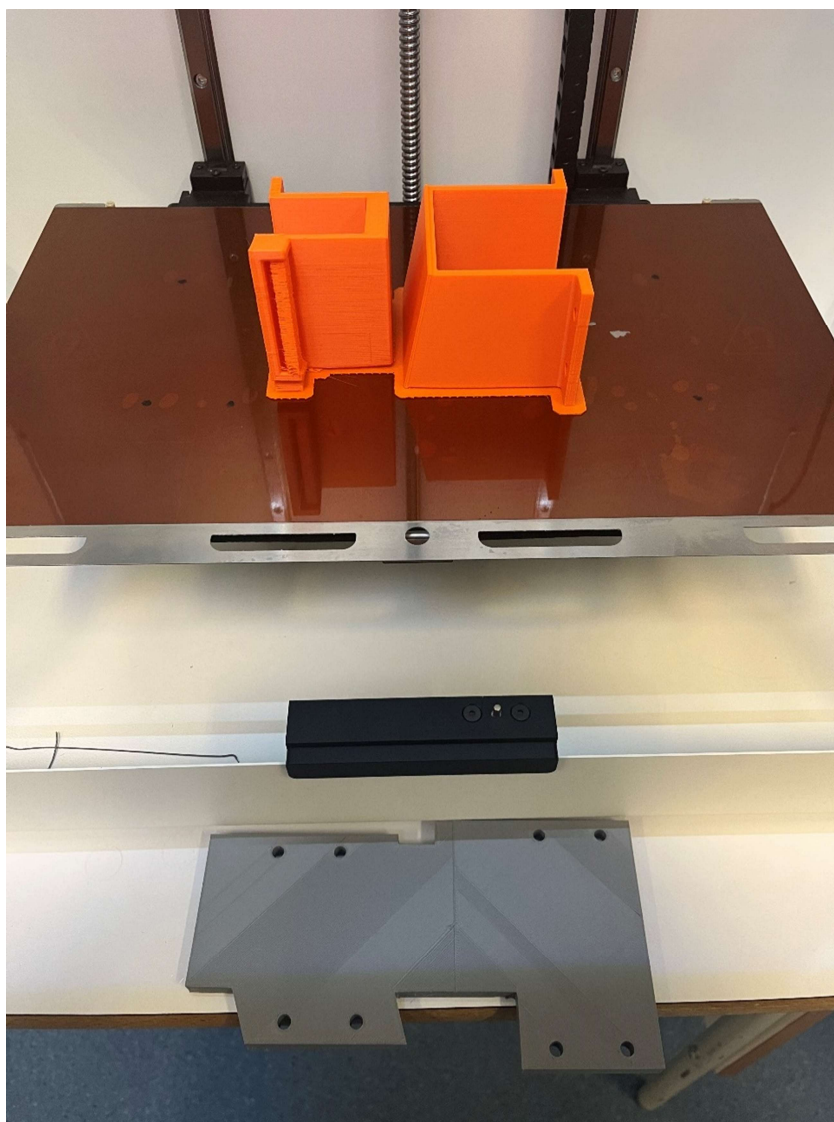
Ezt a pontfelhőt az Autodesk Fusion nevű programjába behívtam. Itt a pontfelhőt beforgattam úgy, hogy igyekeztem egy síkra ráfektetni és ezzel megkönnyíteni a visszamodellezést.



28. ábra: A pontfelhőből történő testmodell létrehozásának lépései

Inventorban készítettem el a prototípust, amely képes a plazmapisztoly megtartására. Az alaplap furatait a robot karjának furataihoz igazítottam.

Készítettem egy alaplapot, egy elülső keretet és egy hátsó keretet. 3D nyomatóval kinyomtattam őket és felszereltem a helyére.



29. ábra: A felfogó kinyomtatott elemei

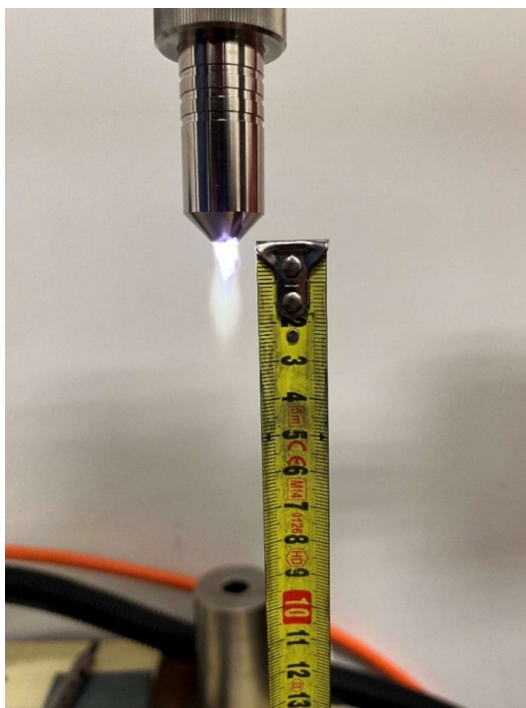
2.3. Előkísérlet leírása és menete

Az üvegszál erősítésű kompozitoknál a legtöbb esetben a ragasztás sikeressége a felületkezelés minőségétől, a helyesen megválasztott ragasztó típustól és a ragasztási technológiától függ. A GFRP gyártásánál a beleragadás megelőzéséért üvegfátyol vagyis másnéven egy külső csúszós réteget készítenek. Ez a rétegragasztásnál nem előnyös, ezért ezt mindenáron el kell távolítani felületről.

Több felületkezelési technológiát is lehet erre a feladatra alkalmazni. Esetemben a plazmás felületkezelést mutatom be. A kísérletek és az előzetesen ismertetett plazma készülék tulajdonságai miatt kettő faktort alkalmazunk, ami pedig a felület-plazmafej távolsága és az előtolási sebesség.

Az irodalomkutatás után egyértelműen látszik, hogy az esetek 95%-nál a plazmás felület előkészítés javította a felületet abban az esetben, ha a szálak ne sérültek jelentősen, így arra jutottam, hogy a rendelkezésre álló előzőekben bemutatott kézi plazma készülékkel végzek egy előkísérletet és elvégzek rajta egy cseppentési vizsgálatot, illetve megvizsgálom konfokális mikroszkópon.

A kísérlet előtt nagy figyelmet fordítottam a plazmapisztoly tanulmányozására, vagyis a plazmaláng méretére, ami jelentősen befolyásolhatja kezelés sikerességét



30. ábra: A plazmaláng hosszának meghatározása

A mérésből kiderült, hogy a láng magja körülbelül 10 milliméterig tart, míg a láng teljes hossza a pisztoly végétől megközelítőleg 25 milliméterre van.

Ez az adat a későbbi távolságok meghatározása és a kísérlet kiértékelésénél igen kiemelkedő fontossággal bírhat. Az előkísérletnél a távolságot tíz milliméterre a sebességet pedig 100 milliméter per percre állítottam, mivel ez normál értékekkel rendelkezik és a plazmás felületkezeléseknél igen jó eredményeket lehetett ezzel a kombinációval elérni.

Először a próbatestet metanollal megtisztítottam, ezáltal eltávolítottam a felületi szennyeződések. Ez a lépés elméleti síkon kihagyható lehetne, mivel a plazmás kezelés eltávolítja a szennyeződések viszont ezesetben fontosnak találtam ezt a lépést megcsinálni, mivel esetünkben a legjobb lehetőséget szeretnénk megvizsgálni.

Az előző pontban bemutatott plazma pisztollyal elvégzem a kísérletet, amihez a felfogó prototípusát használom.

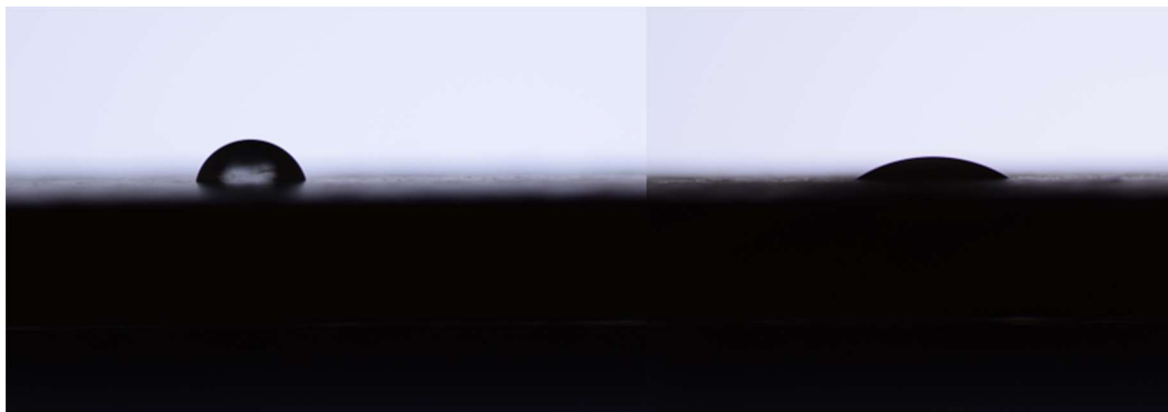


31. ábra: A felhelyezett plazmapisztoly

A felületkezelés folyamata:

- A próbadarabok megtisztítása
- Elhelyezés a munkaasztalon a kijelölt pozícióba
- A plazmapisztoly magasságának beállítása, ellenőrzése
- A plazmapisztoly feltöltése
- A plazmapisztoly bekapcsolása
- A robot elindítása
- Próbadarabok kivétele

A kezelés befejezése után a próbadarabokon minél gyorsabban elvégzem a nyugvó csepp módszert és a peremszögek alapján levonom a következtetéseket.



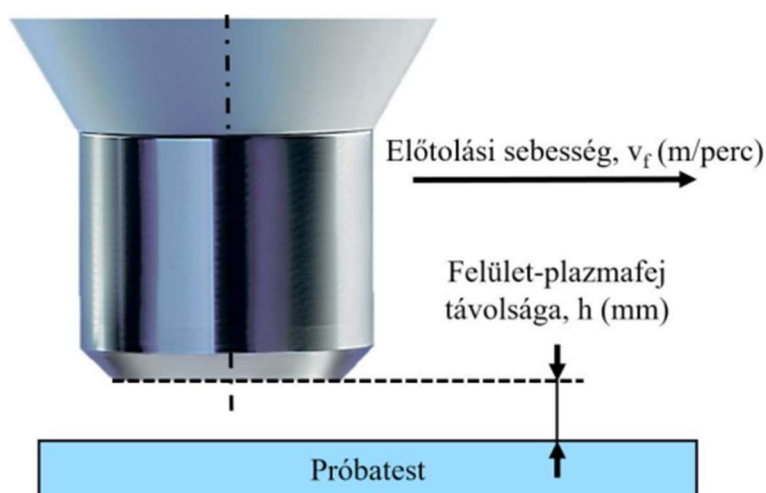
32. ábra: Peremszög összehasonlítása az előkísérlet után

A cseppentési vizsgálatból jól látható, hogy a bal oldali kezelés nélkülinél a peremszög jelentősen nagyobb, mint a kiválasztott paraméteres kezelt esetében.

Ebből arra következtettem, hogy a felület előkészítés sikeres, mivel a peremszög csökkenésével a felületi energia növekedett, ami a ragasztási tulajdonságokat is befolyásolta. Ezen eredmény alapján arra jutottam, hogy érdemes lehet folytatni a kísérletet és megnézni a felületi energia változását.

A bemutatott plazma készüléknél a teljesítmény állandó vagyis nem állítható ezért a faktorok meghatározásánál két faktort választottam ki az egyik a plazmafej és a felület közötti távolság, a másik pedig az előtolási sebesség, ami befolyásolja a kezelés időtartamát.

2.4. A kísérlet menete és leírása



33. ábra: A két faktor meghatározása

A tényleges kísérlet megkezdése előtt a két faktor meghatározását csináltam meg. Az irodalomkutatásom során a jelentősebb kombinációkat vizsgálom meg.

1. táblázat: Az alkalmazott paraméterek

Plazmapisztoly- felület távolság [mm]	Előtolási sebesség [mm/min]
5	50
	100
	150
	200
10	50
	100
	150
	200
15	50
	100
	150
	200
20	50
	100
	150
	200

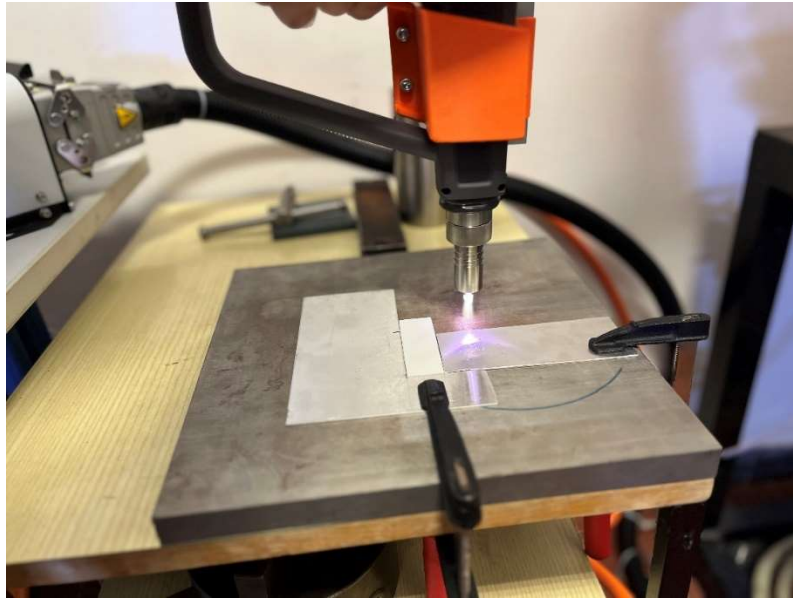
A paraméterek megválasztása után a próbadarabok méretre vágása következett. A méteres szálakat szabványos méretre vágtam, majd az éleket csiszolópapírral lesorjáltam, mivel így elkerülhető az esetleges baleset. A hibásan legyártott munkadarabokat kiválogattam és leselejteztem. A művelethez az előző részben bemutatott Bernardo EBS 128C fűrészgépet használtam.



34. ábra: A GFRP szálak méretre vágása a fűrészgépen

A méretre vágás és sorjázás után következik a felületelőkészítés és az azt követő felület kezelés, amit szintűgy kifejtettem az előzőkben.

A kezelés előtt a próbadaraboknak összeállítottunk egy keretet, ami megakadályozza a próbadarabok elmozdulását a kezelés közben.



35. ábra: A próbadarab elmozdulását megakadályozó keret

A kezelés során mindegyikből eggyel többet készítettem és ezeken végeztem el a cseppentéseket és a konfokális mikroszkóppal ezeket vizsgáltam meg.

A kezelés után pedig következik a ragasztás, ahol a Sikapower 4720-as számú ragasztót használtam.



36. ábra: A használt mérlegen történő anyagkimérés

A ragasztás menete:

- Előkészítettem a mérleget és a ragasztót a ragasztáshoz
- A felületkezelés után a próbadarabokat ráhelyeztem a mérlegre
- A megfelelő kiszámolt mennyiségű ragasztót igyekeztem a kinyomás közben elteríteni és ezzel megkönnyíteni a későbbi szétkenést
- A felületen szétkentem a ragasztót
- Összenyomtam a két próbadarabot
- Lehelyeztem az asztalra
- Leszorítottam és hagytam több mint 12 órán keresztül száradni



37. ábra: Az alkalmazott leszorítás

A megkötés után másnap a próbadarab párokat fellazítva a szorítókat kivettem és tálcára helyeztem, ami után a szakítógéphez mentem és elvégeztem mindegyiknél a mérést.

3. Mérések és eredményei

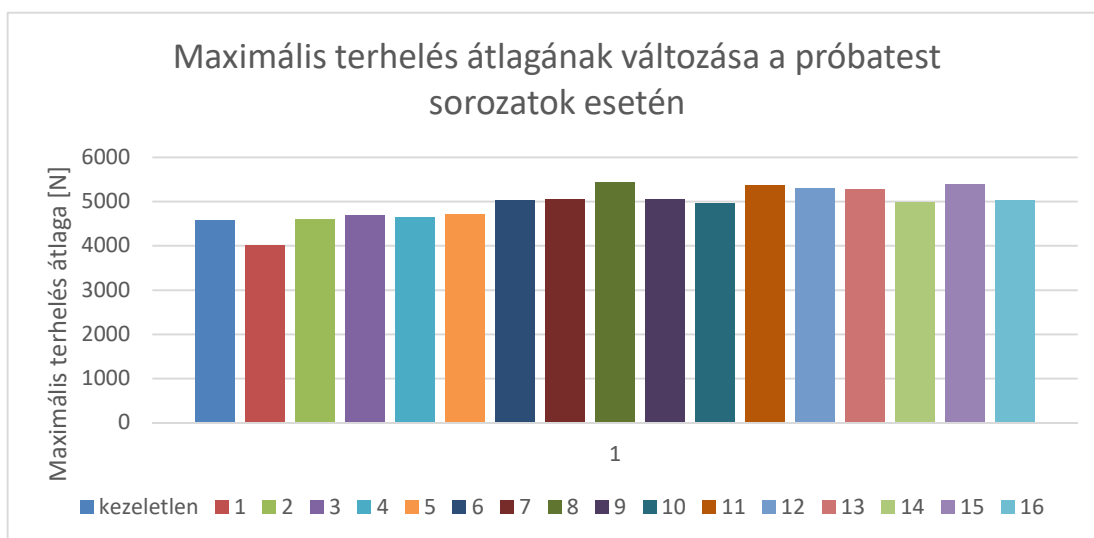
2. táblázat: A kombinációk számozása

	Előtolási sebesség [mm/min]	Felület-plazmafej távolság [mm]	Peremszög [°]	
			Bal	Jobb
1	50	5	28.33	25.35
2	50	10	27.84	25.27
3	50	15	26.58	28.01
4	50	20	22.70	24.93
5	100	5	27.27	32.43
6	100	10	31.92	29.53
7	100	15	30.85	29.80
8	100	20	30.55	30.55
9	150	5	22.56	20.52
10	150	10	18.23	16.32
11	150	15	24.29	19.22
12	150	20	32.00	19.91
13	200	5	69.99	71.28
14	200	10	69.03	63.94
15	200	15	62.13	55.12
16	200	20	69.36	56.00
Kezeletlen			70.64	68.53

3. táblázat: A terhelések értéke a paraméterek változása esetén

	Terhelés 1 [N]	Terhelés 2 [N]	Terhelés 3 [N]	Maximális terhelés átlaga [N]
kezeletlen	4564	4725	4462	4584
1	4095	3883	4093	4024
2	4704	4653	4426	4594
3	4437	4658	4995	4697
4	4534	4746	4671	4650
5	4989	4498	4657	4715
6	4649	5192	5277	5039
7	4969	5309	4859	5046
8	5369	5520	5392	5427
9	4867	4864	5393	5041
10	4869	5013	5007	4963
11	5339	5260	5489	5363
12	5574	5322	5029	5308
13	5691	5057	5078	5275
14	4897	4723	5338	4986
15	5409	5310	5426	5382
16	5210	4938	4951	5033

Az eredményekből jól látszik, hogy az öt milliméter távolságból történt kezelések adták a legkisebb értékeket ezáltal egyértelműen látszik, hogy a plazmaláng túlságosan közel volt és emiatt sérülhetett a felület, ami a szakítási értékekre is kihatott.



38. ábra: A maximális terhelések átlaga a próbadarab sorozatoknál



39. ábra: A maximális terhelés viszonya a kezelt és kezeletlen sorozat esetén

A szakítási vizsgálatok eredményét az 1. számú melléklet tartalmazza. A diagramból jól látható, hogy a legnagyobb értékek adó sorozatot és a kezeletlent összehasonlítva a terhelések átlaga több mint 18%-kal növekedett. Ebből arra következtettek, hogy van értelme a plazmás felületkezelésnek.

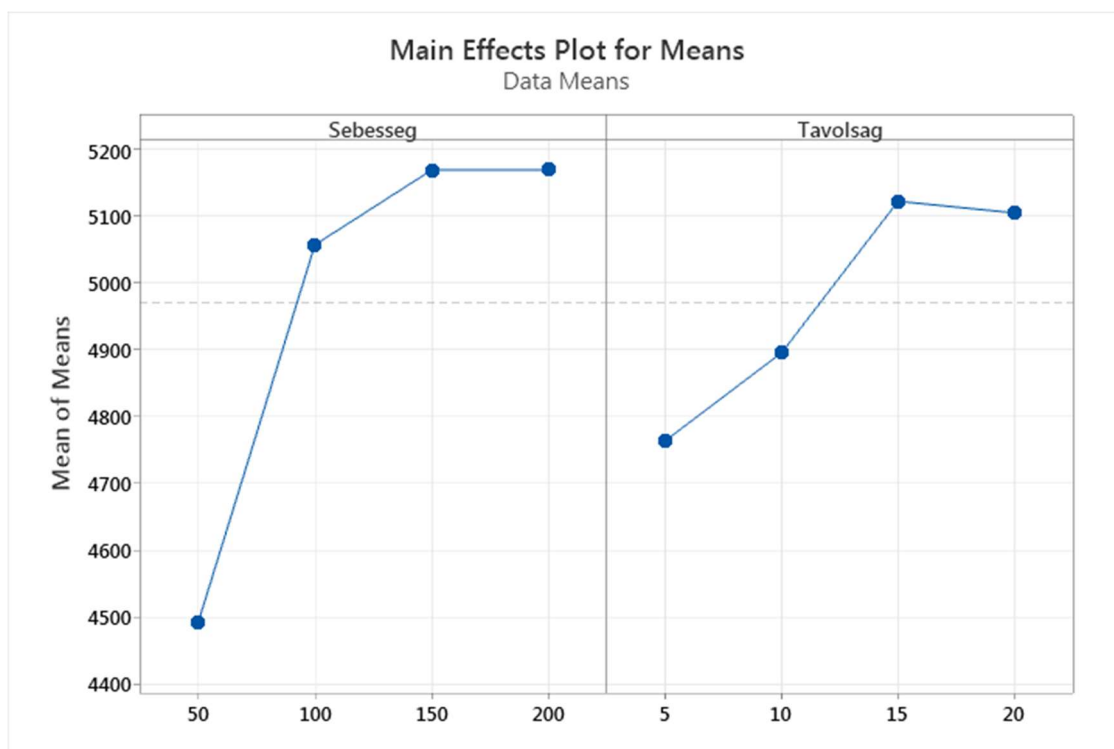
Response Table for Means

Level	Sebesseg	Tavolsag
1	4491	4764
2	5057	4896
3	5169	5122
4	5169	5105
Delta	678	358
Rank	1	2

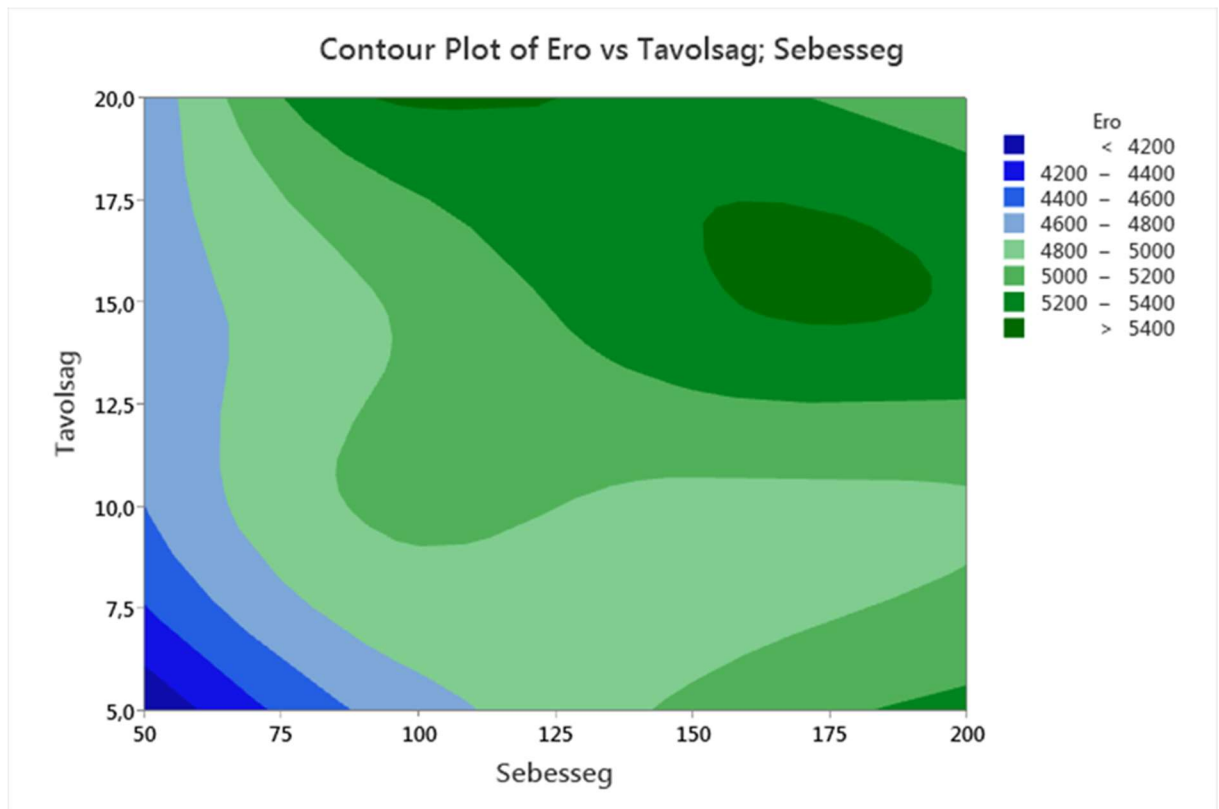
40. ábra: A faktorok sorrendje

A két faktort összehasonlítva jól látható, hogy a sebesség majdnem kétszer oly fontos mint a távolság, emiatt a későbbi kísérletekben nagyobb figyelmet kell arra fordítani.

A diagramból jól látszik az is, hogy a vártak alapján a legkisebb távolság és sebesség értékek jelentősen alacsonyabbak, mint a többi így azok további használata nem lenne érdemes. Sokkal jobban kéne koncentrálni a két legnagyobb sebességre, illetve a távolságokra, amiket későbbiekben jobban szét kéne osztani és ezáltal részletesebb eredményt lehet kapni. Ezek alapján egyértelműen az látszik, hogy a tizenöt milliméteres távolság a legoptimálisabb távolság és ettől marad el egy kicsit a húszas. Míg sebesség szempontjából a százötven és a kétszáz egyformán optimálisnak tűnik, talán ajánlatos lehet a későbbiekben magasabb sebességeket is megnézni a további optimalizálás érdekében.

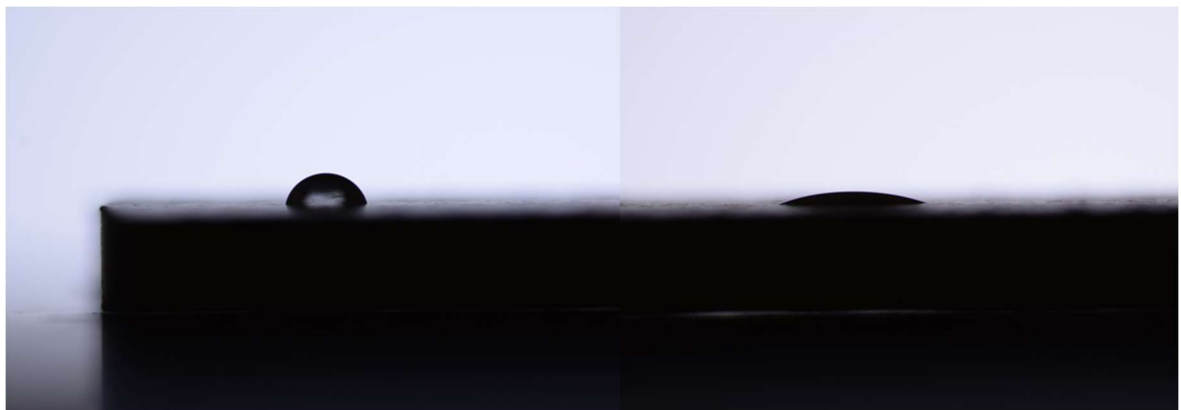


41. ábra: A Taguchi módszer eredménye



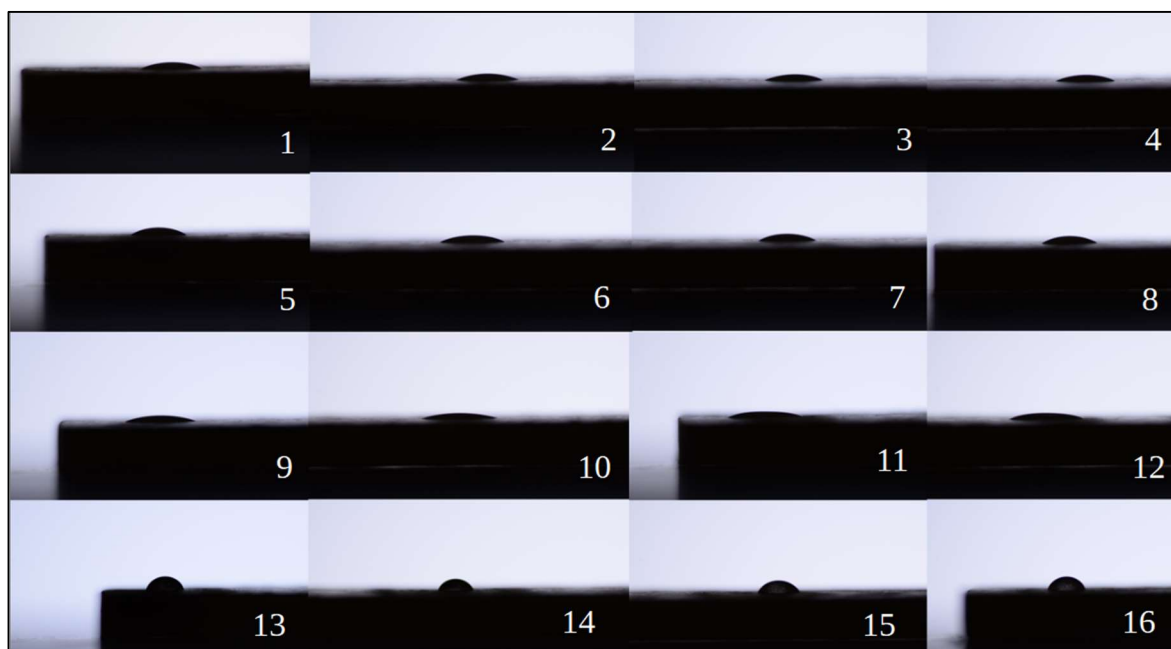
42. ábra: A erők megoszlása a távolság és sebesség függvényében

Az előző megállapításokat támasztja alá ez az ábra is, ahol jól látszik, hogy a jobb oldalon látható sötétzöld halmaz, ami százötvenes és kétszáz-as sebesség között, illetve a tizenöt és tizenhét és fél milliméteres távolságban található. A kisebb sebességek esetén a húsz vagy afeletti távolságnál ugyancsak megjelenik az optimális halmaz. Illetve, ami számomra a legérdekesebb és az ipar számára a leghatékonyabb lehetne az a harmadik halmaz, ami a leggyorsabb sebesség és a legkisebb távolságnál látható. Az iparban ez lehetne a legoptimálisabb, mivel a nagy sebesség miatt a felületkezelés gyors és termelékeny lehetne, ami egy igen jelentős érv.



43. ábra: Peremszög különbség a kezeletlen (bal) és a kezelt (jobb) között

A bal oldali kezeletlen és a jobb oldali legjobban sikerült kezelt összevetésénél jól látható az, hogy jelentős több mint 75%-os peremszög csökkenés történt és ezzel együtt a felületi energia is jelentősen változott.

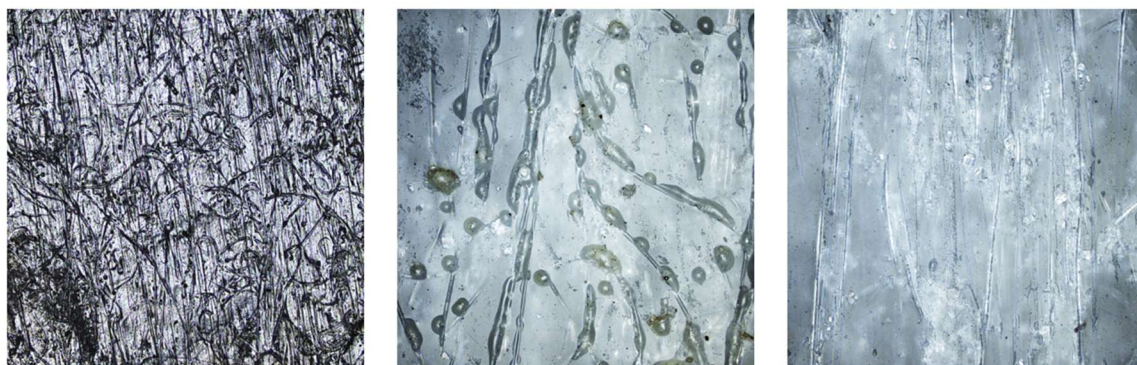


44. ábra: A cseppentési sorozat

A képen látható szám a sorozatszám a cseppentéseknek a különböző kombinációval kezelt felületeknek. A számozást és a hozzá tartozó paramétereket az 2. táblázat tartalmazza.

Ez az eredmény még jobban rávezet arra, hogy a kezelés nem felesleges, hiszen ily jelentős peremszög javulás esetén a kötés minősége és tulajdonságai is ilyen arányban változtak.

A próbadarabokat konfokális mikroszkópon is megvizsgáltuk, hogy a kezelés utáni folyamatokkal még jobban tisztában legyünk.



45. ábra: A kezeletlen (balról), a 6-os beállítás (középen) és a 16-os beállítás (jobbról)

A képek alapján jól látszik, hogy a bal oldali kezeletlen esetében durvább a felülete, mint a többinek. A középső esetén látszik, hogy a legfelső réteg megolvadt majd visszahűlve rászáradt a felületre és így olvadék cseppek alakultak ki a felületen. A legtöbb képen ilyen vagy ehhez hasonló olvadékcseppek vannak. A túl közeli kezelés esetén a felület megégett és ezáltal értelmezhetetlen képet adott. A jobboldali esetén az látható, hogy a felületet finomította a kezelés, de olvadék nem vagy csak minimálisan keletkezett. A sebesség növelésével az olvadékokat jelentősen csökkenteni lehetett és a két faktor közül ez befolyásolta jobban ezek megjelenését. A Taguchis vizsgálat és ez a vizsgálat is azt az eredményt hozta, hogy a sebesség a kettő közül a nagyobb jelentőséggel bíró faktor.

A szakítások eredménye ambivalens eredményt hozott a terhelések az előzőekben látottak alapján valamelyest növekedett, még annak ellenére is, hogy a ragasztónak és az anyagnak ennél sokkal tovább kellett volna bírniuk.

Az előbbiekben felemás eredményre az alábbi képek megvizsgálása után választ kapunk. A ragasztások során egy adhéziós tönkremenetelt kaptunk, az pedig az egyik kezeletlennél történt, amely esetben a maximális terhelés körülbelül 3000N volt. Ezzel kapcsolatban nekem az a megállapításom, hogy a terméket hibásan gyártották le, mivel a felületelőkészítés mindegyik próbatest esetén megtörtént, így ezt selejtnak minősítem.



46. ábra: Az adhéziós tönkremenetel

A többi próbadarab esetében ilyen nem történt. Ezeknél azt vettem észre, hogy a ragasztó attól az egyszeri esettől eltekintve bírta a terhelést, viszont a profilok legfelső rétege nem bírta a terhelést és ezért felvált, ezzel a vizsgálatnak véget vetve.



47. ábra: A tönkremenetel utáni állapota a próbadaraboknak



48. ábra: A szakítás utáni állapota a próbadaraboknak

A képek alapján jól látható, hogy a ragasztó teljes mértékben bírta a terhelést, viszont a próbadarab legfelső rétege (köpeny, fátyol) sajnos nem bírta. Jól látható a legfelső réteg felválása.

Technológiai- és ipari alkalmazhatósági ajánlás

Az üvegszállal erősített profilok esetében a plazmás felületkezelés célja a felületen található szennyeződések eltávolítása és a felületi energia növelése, amit peremszög mérésével állapítanak meg, mivel a felületi energia növekedése és a peremszög csökkenése összefügg. A kísérletek alapján ez megvalósítható, viszont ehhez a megfelelő paraméterek, beállítások is szükségesek, mivel a felület megégetése esetén az ellenkezőjét, vagyis csökkenést érünk el. Az ipar számára a kezelés időtartama és a kezelés hatékonysága a két legfontosabb kritérium. A Taguchi kísérletterv eredménye alapján a sebesség a jelentősebb paraméter, ezért annak növelése lenne a legjobb a nagyüzemű termelés érdekében, viszont ezzel együtt a távolságot csökkenteni kell, ahhoz hogy a megfelelő felületet fenntartsuk.

A ragasztás során az volt látható, hogy a kiválasztott ragasztó bírta a terhelést, viszont a legfelső réteg nem és ezért elvált az üvegszáltól. Ezt a problémát remélhetőleg a későbbiekben részletes kivizsgálással és kijavítással orvosolni lehet. Viszont ezzel a problémával is 18%-os növekedést lehetett elérni a kezeletlen és kezelt között, ami a kezelés jelentőségét mutatta meg. Emiatt gondolom azt, hogy érdemes lehet a témával foglalkozni és egy optimalizálással a problémák kijavíthatók lehetnének.

Az optimalizálás kitérne természetesen az alapanyagra, mind összetételileg, mind gyártás szempontjából is. A kezelés esetében az ismeretlen részek feltérképezése lenne a cél, illetve a teljesítmény változása a maximális terhelés mértékére, mivel esetemben ez állandó volt, emiatt nincs viszonyítási alapom. A kezelésnél nagyon fontos a felület és a plazmaláng pozíciója, mivel igyekezni kell a merőlegességre, mivel ez is befolyásolja a kezelés sikerességét. A kezelés előtti felület tisztítás nem szükséges, így ez elhanyagolható. De a kezelés után a legrövidebb idő alatt össze kell ragasztani a két felületet, mivel az idő teltével a felületi energia értéke csökken valamennyit.

A plazmás felületkezelés rendszer kialakításánál figyelembe kell venni, hogy a beruházás a gép típusától a kezelés módjától és a gyár méretétől is függ. Esetemben mi a legalapabb módjáválasztottuk ennek. Vagyis egy kompakt méretű berendezést választottunk, amivel légköri nyomáson lehet kezeléseket elvégezni. Ha nem ilyen gépet szereznek be akkor szükség lehet egy vákuumkamrára, amivel a nyomást lehet változtatni. Ennél a kezelés után a darabokat ki kell venni de előtte a nyomást vissza kell állapítani, majd az új próbadaraboknál a szükséges nyomás vagy vákuum elérése. Ez sokkal időigényesebb, mint a légköri.

A másik kritikus tényező a hőmérséklet, mivel ez is nagymértékben befolyásolja a kezelés sikerességét. Érdemes hőmérséklet szabályozó rendszerről gondoskodni, amely hűtésre és fűtésre is alkalmas.

A szellőztető rendszer is elég fontos, mivel az elhasznált levegőnek távoznia kell és friss levegőre is szüksége van a berendezésnek.

A termelékenység növelése érdekében érdemes lehet portál rendszerű kialakításon gondolkodni, mivel egy jól megírt programmal és megfelelő technológiai paraméterekkel egy igen termelékeny és hatékony eljárás lehet.



49. ábra: Az ajánlott kialakítása a portál rendszernek [33]

Összefoglalás

A kutatásomban a pultrudált üvegszál erősítésű kompozit profilok plazmás felületkezelését végeztem a felületi energia és a mechanikai tulajdonságok növelése érdekében. Az előkísérlet elvégzése után láthatóan sikerült csökkenteni a peremszöget, emiatt elvégeztem a fő kísérletet. A kezelés után a Sikapower4720-es ragasztóval összeragasztottam és kötni hagytam több mint 12 órát. A megkötés után elvégeztem a szakítóvizsgálatot és az eredményeket kiértékeltem és összehasonlítottam. Az eredmények javulást mutattak még annak ellenére is, hogy a profilok legfelső része nem bírta a terhelést és elvált az üvegszálaktól és ez okozta a tönkremenetelt.

A probléma ellenére is egyértelműen látszódik az eredményekből, hogy nagyon nagy potenciál van a plazmás felületkezelésben, emiatt érdemes a témában jobban elmélyülni.

A kezeletlen és a legnagyobb eredményt adó próbadarabok közötti 18%-os növekedés és a tönkremenetel módja meghatározza a későbbi utat, amit érdemes követni ez esetben.

Az ajánlásban leírtak alapján optimalizálás lenne a legideálisabb, illetve a probléma részletes feltárása. Lehetőség szerint a legfelső réteg és az üvegszálak közötti kötés erősítése lenne az egyik nagy cél. A másik pedig a kezelések részletesebb feltérképezése, mivel a Taguchi eloszlás alapján jól látható, hogy a három halmaz közül csak az egyiket sikerült jól behatárolni a másik kettő halmazt nem sikerült. Esetemben a teljesítmény állandó volt, így lehetséges, hogy a részletesebb tanulmányozás esetében a teljesítményt is jobban megkéne vizsgálni, amely lehet, új utakat nyitna meg.

A kutatásom kitűzött célját, vagyis a felületi energia növelését és a mechanikai tulajdonságok növelését sikerült elérnem. A kutatásomat ebben a témában szeretném folytatni azzal, hogy a másik két halmazt feltérképezem és a teljesítmény változások hatását is tanulmányoznám, ezzel teljesen kiegészítve az eddigi tapasztalatokat és eredményeket.

Hiszem azt, hogy a jövőben a plazmás felületkezelés az ipar számára az egyik legjelentősebb kezelés lehet, amely gyors és hatékony lehet, emiatt csökkentve a kezelés időtartamát és növelve a gyártás volumenét.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Vaczkó Dánielnek a diplomaterv menedzseléséért és a rengeteg segítségért.

Köszönöm Dr. Berczeli Miklósnak a szakmai segítségnyújtást és a témával kapcsolatos rendkívül hasznos szakmai tanácsokat.

Köszönöm Tajti Ferencnek és Kovács Péternek a kísérletek elvégzésében való segédkezést.

Köszönöm az Avius Kft.-nek, aki biztosította a diplomamunkám elkészítéséhez szükséges GFRP profilokat.

Summary

Nowadays, in addition to reducing fossil materials, it is of great importance for industry to increase efficiency, preferably while meeting expectations in terms of economy. Metals have a number of excellent properties, but they also have a very large disadvantage, namely that their specific gravity is usually high for other materials. They try to solve this difficulty with various tests and minimalist planning, but they cannot reduce it below a certain limit. The use of alternative materials to remedy the problem may be the best solution to achieve the required properties for significantly less weight.

In my research, I performed the plasma surface treatment of counter-ruled fiberglass-reinforced composite profiles to increase surface energy and mechanical properties. After completing the pre-experiment, I was visibly able to reduce the edge angle, which is why I did the main experiment. After treatment, I glued it together with the Sikapower4720 adhesive and left it knit for more than 12 hours. After the conclusion, I performed the tensile test and evaluated and compared the results. The results showed improvement even though the top of the profiles could not withstand the load and were detached from the fiberglass and this caused the failure.

Despite the problem, it is clear from the results that there is very great potential in plasma surface treatment, which is why it is worth deepening the topic.

The 18% increase and mode of failure between untreated and the highest test pieces determines the later path that should be followed in this case.

Based on what is described in the recommendation, optimization would be the most ideal and detailed identification of the problem. If possible, strengthening the bond between the top layer and the glass fibers would be one of the big goals. The other is a more detailed mapping of the treatments, as it can be clearly seen from the Taguchi distribution that only one of the three sets was well delimited and the other two sets were not successful. In my case, the performance was constant, so it is possible that in the case of a more detailed study, the performance would also need to be better examined, which could open up new avenues.

I managed to achieve the goal of my research, which is to increase surface energy and increase mechanical properties. I would like to continue my research on this topic by mapping the other two sets and also studying the impact of performance changes, thus completely complementing the experience and results so far.

I believe that in the future, plasma surface treatment may be one of the most significant treatments for the industry, which can be rapid and effective, thus reducing the duration of treatment and increasing the volume of production.

Ábrajegyzék

1. ábra: Polimerek csoportosítása [2]	5
2. ábra: Hőre keményedő polimerek [3]	6
3. ábra: Kompozitok csoportosítása morfológia szerint [2]	7
4. ábra: Szál geometriájának szerepe [2]	8
5. ábra: Az üvegszál gyártás folyamata [5]	9
6. ábra: A plazma felületkezelés hatásának lépései [14]:	12
7. ábra: A tönkremeneteli módok [3]	14
8. ábra: A ragasztók csoportosítása [4]	15
9. ábra: A ragasztási felületen létrejövő különböző terheléstípusok és azok feszültségeloszlásai [11]	16
10. ábra: Ragasztásnál fellépő erők [11]	17
11. ábra: A Reverse Engineering folyamatai [12]	18
12. ábra: Konfokális rendszer felépítése [13]	20
13. ábra: A vizsgálatokhoz használt konfokális mikroszkóp [14]	21
14. ábra: A kísérlethez használt plazma berendezés [15]	22
15. ábra: A kísérlethez használt szkennel működés közben [16]	23
16. ábra: A vizsgálatok elvégzéséhez használt szakítógépet [17]	24
17. ábra: A használt fűrészgép [18]	25
18. ábra: A kísérletekhez használt ragasztószett [19]	25
19. ábra: A Sikapower4720 műszaki adatai [19]	26
20. ábra: A nyugvó csepp módszer sematikus ábrája [21]	27
21. ábra: Nedvességi peremszögértékek alakulásának a lehetőségei szilárd fázisra helyezett folyadékcssepp esetén [3]	28
22. ábra: A nyugvó csepp módszeres mérés elrendezése	29
23. ábra: A robot felfogó része	30
24. ábra: A plazmapisztolyról készült különböző nézetek	31
25. ábra: Az összefűzött plazmapisztoly	31
26. ábra: Lyukak és rések befedése utáni összefűzött plazmapisztoly	32
27. ábra: A létrehozott pontfelhő	32
28. ábra: A pontfelhőből történő testmodell létrehozásának lépései	33
29. ábra: A felfogó kinyomtatott elemei	33
30. ábra: A plazmaláng hosszának meghatározása	34
31. ábra: A felhelyezett plazmapisztoly	35
32. ábra: Peremszög összehasonlítása az előkísérlet után	36
33. ábra: A két faktor meghatározása	36
34. ábra: A GFRP szálak méretre vágása a fűrészgépen	37
35. ábra: A próbadarab elmozdulását megakadályozó keret	38
36. ábra: A használt mérlegen történő anyagkimérés	39
37. ábra: Az alkalmazott leszorítás	39
38. ábra: A maximális terhelések átlaga a próbadarab sorozatoknál	41
39. ábra: A maximális terhelés viszonya a kezelt és kezeletlen sorozat esetén	41
40. ábra: A faktorok sorrendje	42
41. ábra: A Taguchi módszer eredménye	42
42. ábra: A erők megoszlása a távolság és sebesség függvényében	43
43. ábra: Peremszög különbség a kezeletlen (bal) és a kezelt (jobb) között	43
44. ábra: A cseppentési sorozat	44
45. ábra: A kezeletlen (balról), a 6-os beállítás (középen) és a 16-os beállítás (jobbról)....	44
46. ábra: Az adhéziós tönkremenetel	45
47. ábra: A tönkremenetel utáni állapota a próbadaraboknak	46

48. ábra: A szakítás utáni állapota a próbadaraboknak	46
49. ábra: Az ajánlott kialakítása a portál rendszernek [33]	48

Irodalomjegyzék

- [1] M. Corporate, „Application of FRP in medical devices,” Miyabi, 22. október 2019. [Online]. Available: <https://www.miyabifrp.com/2019/10/22/application-of-frp-in-medical-devices/>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [2] S. Toekomsttechniek, „Machining CFRP/GFRP composite material,” [Online]. Available: https://www.machining4.eu/Technology-Sheets/Machining_CFRP_GFRP_Composite_material. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [3] C. T.-. G. J.-. N. Péter, A polimertechnika alapjai, Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2007.
- [4] D. K. Géza, „Korszerű anyagok és technológiák, 9. Kompozitok,” 2006.
- [5] D. H. Hajnalka, „Polimer kompozitok alapanyagai, tulajdonságai, kompozitmechanikai alapok,” Győr, 2011.
- [6] V. Csilla, Műanyag kompozitok 2.rész, Veszprém: Pannon Egyetem, 2012.
- [7] M. Péter, „Pultrudált profilok ragasztott kötéseinek vizsgálata,” Kecskemét, 2022.
- [8] K. Sándor, „Üreges üvegszál erősítésű polimer kompozitok,” Budapest, 2014.
- [9] M. Y. O. B. I. H. J. H. S. J. & S. M. Volk, „Cost-efficient, automated, and sustainable composite profile manufacture: A review of the state of the art, innovations, and future of pultrusion technologies,” Zürich, 2022.
- [10] T. F. Starr, Pultrusion for Engineers, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000.
- [11] „Fibrolux,” [Online]. Available: <https://fibrolux.com/en/pultrusion/>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [12] „Avius Kft.,” [Online]. Available: <https://www.avius.hu/>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [13] X. P. M. J. S. P. Y. Q. R. Zhang, „Influence of atmospheric pressure plasma treatment on surface properties of PBO fiber,” Donghua University, Shanghai, 2012.
- [14] M. Dr. Berczeli, „Járműipari kötések fejlesztése,” Budapest, 2022.
- [15] J. B. D. S. R. Severens, „High-quality a-Si:H grown at high rate using an expanding thermal plasma,” Eindhoven, 1997.
- [16] M. D. F. O. V. M. D.P. Dowling, „Comparing the performance of three commercial atmospheric plasma jets for the activation of PET,” Dublin, 2012.
- [17] J. L.-C. S.-J. M.-H. W.-. S. Wang, „Effect of atmospheric pressure plasma treatment on surface physicochemical properties of carbon fiber reinforced polymer and its interfacial bonding strength with adhesive,” in *Tongji University*, Shanghai, 2018..
- [18] D. W.-Y. L.-T. Z.-J. F.-Z. Liu, „Increasing strength and fracture toughness of carbon fibre-reinforced plastic adhesively bonded joints by combining peel-ply and oxygen plasma treatments,” in *Civil Aviation University of China*, Tianjin, 2023..
- [19] C. L.-S. V.-C.-F. S.-Z. S.-B. Blackman, „Effect of CFRP surface topography on the adhesion and strength of composite-composite and composite-metal joints,” Shanghai, 2022.
- [20] R. C.-M. C. d. S.-J. A.-M. P.-Y. B.-J. C. d. Real, „The Effect of Surface Treatment on the Behavior of Toughened Acrylic Adhesive/GRP(epoxy) Composite Joints,” Taylor & Francis, 2010.

- [21] Z. Welsch, „Járműipari kötéstechológiák,” Budapest, 2019.
- [22] B. G.-B. Enikő, Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés, Kolozsvár, 2010.
- [23] Z. Welsch, „Nedvesedési jelenségek vizsgálata Ag-alapú olvadékok és kerámiák között a járműipari kötéstechológiák megalapozásához,” Budapest, 2013.
- [24] Henkel, „A ragasztástechnológia alapjai”.
- [25] K. Krisztián, „CAD/CAM rendszerek,” 2023.
- [26] Műszeroldal, „Konfokális mikroszkópia- elméleti bevezető,” Műszeroldal Kft., [Online]. Available: https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/konfok_elm.pdf. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [27] N. J. E. G. M. é. I. k. IJAT, „IJAT, Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatika kar,” 20. február 2023.. [Online]. Available: <https://ijat.hu/hirek/2023-02-20-konfokalis-lezer-pasztazo-mikroszkop-erkezett-tanszekunkre>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [28] „Relyon Plasma A TDK Group Company,” [Online]. Available: <https://www.relyon-plasma.com/produkt/plasmatool/?lang=en>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [29] P.-A. Arrighi, „Aniwaa Pte. Ltd.,” 18 október 2022.. [Online]. Available: <https://www.aniwaa.com/review/3d-scanners/freescan-ue-pro-review-cost-effective-metrology-grade-3d-scanner-that-delivers/>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [30] N. J. E. G. M. é. I. K. I. J. é. A. Tanszék, 2022.. [Online]. Available: https://ijat.hu/kepek/tartalom/1/files/IJAT_brosura_2022.pdf. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [31] Bernardo, „PWA Handelsges.m.b.H.,” [Online]. Available: <https://www.bernardo.at/hu/ebs-128-c-230-v.html>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [32] „Sika Hungária Kft.,” [Online]. Available: https://hun.sika.com/dam/dms/hucon/d/sikapower_4720_hu0314ta.pdf. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].
- [33] T. H. Kft., Theiss Hajtástechnika Kft., [Online]. Available: <https://theissdrive.com/linearis-megoldasok/tobbdimenzios-rendszer-es-mozgasvezerles/hgs-portal-rendszer/>. [Hozzáférés dátuma: 16. november 2023.].

Melléklet

1. számú melléklet: GRP szakítási vizsgálat eredményei

1. számú melléklet

	Specimen label	Maximum Load (N)	Extension at Maximum Load (mm)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain (Extension) at Maximum Load (mm/mm)	Specimen note 3	Specimen number input 1	Tensile stress at Yield (Zero slope) (MPa)	Load at Yield (Zero slope) (N)
	1 1.1	4095	2.080	51.77903	52.13948	0.02960		0.00000		
	2 1.2	3735	2.106	47.53258	47.55335	0.02998		0.00000	47.55335	3734.83154
	3 1.3	3883	2.699	49.31121	49.43819	0.03846		0.00000	49.43819	3882.86646
	4 1.4	4580	2.846	55.05070	58.31062	0.04055		0.00000	58.31062	4579.70508
	5 1.5	4093	2.262	48.72338	52.10944	0.03217		0.00000	51.60329	3911.32050
	6 2.1	4396	2.016	52.17980	55.96774	0.02870		0.00000	55.96774	4395.69629
	7 2.2	4704	2.124	59.24249	59.89062	0.03022		0.00000		
	8 2.3	4653	1.754	59.02880	59.23865	0.02494		0.00000	59.23865	4652.59277
	9 2.4	4900	3.640	62.14664	62.38537	0.05188		0.00000	31.10487	2442.97095
	10 2.5	4426	1.809	56.25839	56.35546	0.02575		0.00000	56.35546	4426.14746
	11 3.1	4437	1.462	56.33689	56.49813	0.02079		0.00000	56.49813	4437.35254
	12 3.2	5105	1.936	64.71669	65.00276	0.02756		0.00000	65.00276	5105.30518
	13 3.3	4658	1.794	55.70190	59.30907	0.02551		0.00000	59.30907	4658.12354
	14 3.4	4400	2.364	55.95390	56.02221	0.03365		0.00000	56.02221	4399.97412
	15 3.5	4995	2.599	63.50886	63.60449	0.03703		0.00000	63.60449	4995.48486
	16 5.1	4989	2.428	61.78496	63.51779	0.03455		0.00000	63.51779	4988.67578
	17 5.2	4498	3.200	57.22538	57.26711	0.04560		0.00000	57.26711	4497.74854
	18 5.3	4657	1.427	59.29423	59.29608	0.02026		0.00000	12.09687	950.08575
	19 5.4	5412	2.784	68.47291	68.90260	0.03964		0.00000	68.90260	5411.59814
	20 5.5	4342	2.162	55.03930	55.27919	0.03074		0.00000	55.27919	4341.61768
	21 6.1	5405	2.178	68.43230	68.81301	0.03098		0.00000	68.81301	5404.56152
	22 6.2	4640	1.578	57.10385	59.19132	0.02341		0.00000	58.87543	4642.06543
	23 6.3	5192	2.128	66.03735	66.11278	0.03027		0.00000	66.11278	5192.48535
	24 6.4	5277	1.916	66.62052	67.19511	0.02727		0.00000	67.19511	5277.49170
	25 6.5	3035	1.422	25.19071	38.63964	0.02017		0.00000	38.63964	3034.75073
	26 6.5.2	4910	1.489	62.08301	62.51106	0.02118		0.00000	62.51106	4909.60742
	27 7.1	4969	1.389	63.22300	63.26724	0.01974		0.00000	12.27297	963.91681
	28 7.2	5602	1.972	66.98531	71.32522	0.02802		0.00000	71.32522	5601.86963
	29 7.3	5309	1.595	67.43118	67.59651	0.02269		0.00000	10.46224	821.70209
	30 7.4	4859	2.152	61.62976	61.87109	0.03065		0.00000	61.87109	4859.34375
	31 7.5	61817	1.786	61.05905	61.33620	0.02541		0.00000	61.33620	4817.33398
	32 14.1	5625	5.591	69.08418	71.62119	0.07975		0.00000	24.35682	1912.98010
	33 14.2	4897	1.832	61.54737	62.35379	0.02608		0.00000	62.35379	4897.25488
	34 14.3	4723	1.418	59.99048	60.13212	0.02017		0.00000	60.13212	4722.76562
	35 14.4	5977	4.905	75.81087	76.10115	0.06996		0.00000	69.54565	5462.10254
	36 14.5	5338	1.753	64.40634	67.96769	0.02493		0.00000	11.84453	930.26727
	37 kez1	4564	1.847	53.13942	58.11616	0.02627		0.00000	58.11616	4564.43262
	38 kez2	4725	2.534	53.90626	60.15479	0.03607		0.00000	52.62787	4133.38330
	39 kez3	3057	0.836	29.54366	38.92630	0.01183		0.00000	10.97793	862.20502
	40 kez4	5083	3.411	64.57071	64.71719	0.04862		0.00000	55.06413	4324.72656
	41 kez5	4462	1.380	56.47763	56.81716	0.01960		0.00000	56.81716	4462.40919
	42 4.1	4534	1.461	57.65758	57.73150	0.02075		0.00000	57.73150	4534.22168
	43 4.2	4746	1.634	60.35091	60.42838	0.02322		0.00000		
	44 4.3	4671	1.546	55.82750	59.47609	0.02198		0.00000	59.47609	4671.24121
	45 4.4	4596	3.193	55.11472	58.52135	0.04551		0.00000	40.17881	3155.63647
	46 4.5	4520	2.215	57.02694	57.55594	0.03155		0.00000	51.23967	4024.35474
	47 16.1	5210	2.559	66.19452	66.33441	0.03645		0.00000	37.33857	2932.56421
	48 16.2	5018	2.775	63.65028	63.86763	0.03954		0.00000	47.63195	3741.00439
	49 16.3	4938	2.440	58.75390	62.86679	0.03476		0.00000	39.76166	3122.87735
	50 16.4	4951	1.900	63.03559	63.03559	0.02705		0.00000	61.25975	4811.32959
	51 16.5	5654	3.733	71.66710	71.98965	0.05323		0.00000	49.82255	3913.05396
	52 13.1	4851	1.189	61.70453	61.76870	0.01684		0.00000	39.10369	3071.19678
	53 13.2	5691	1.575	72.24554	72.46600	0.02241		0.00000	72.46600	5691.46680
	54 13.3	5057	1.446	64.03031	64.38890	0.02056		0.00000	64.38890	5057.09277
	55 13.4	5078	1.959	64.46516	64.65561	0.02787		0.00000	55.59512	4366.43066
	56 13.5	4945	2.273	58.91114	62.96688	0.03235		0.00000	47.23959	3710.18872
	57 10.1	5222	2.071	65.44756	66.48518	0.02948		0.00000	58.73328	4612.90137
	58 10.2	4869	1.166	61.87736	61.99173	0.01655		0.00000	61.99173	4868.81934
	59 10.3	5013	1.101	63.81640	63.82526	0.01560		0.00000	7.31181	574.26813
	60 10.4	4750	1.128	57.07662	60.47842	0.01599		0.00000	7.16273	562.55945
	61 10.5	5007	1.349	63.60442	63.74606	0.01917		0.00000	63.74606	5006.60352
	62 8.1	5369	1.439	68.11153	68.35583	0.02045		0.00000	68.35583	5368.65430
	63 8.2	5520	1.296	70.26752	70.28305	0.01841		0.00000	7.31979	574.89532
	64 8.3	5551	2.202	69.50620	70.67317	0.03135		0.00000	54.93822	4314.83789
	65 8.4	5392	1.226	68.64745	68.64745	0.01741		0.00000	68.64745	5391.55811
	66 8.5	4821	1.155	61.29335	61.38234	0.01641		0.00000	61.38234	4820.95801
	67 12.1	5574	1.248	67.73289	70.97628	0.01770		0.00000		
	68 12.2	4974	1.192	62.97435	63.33609	0.01694		0.00000	63.33609	4974.40527
	69 12.3	5322	1.556	63.71947	67.75952	0.02212		0.00000	67.75952	5321.82031
	70 12.4	5029	1.250	60.21969	64.03069	0.01775		0.00000	64.03069	5028.95850
	71 12.5	5174	1.922	65.87685	65.87685	0.02736		0.00000	54.38286	4271.21973
	72 15.1	5495	1.432	69.65099	69.96526	0.02036		0.00000	69.96526	5495.05859
	73 15.2	5003	1.239	60.03812	63.70013	0.01760		0.00000	63.70013	5002.99658
	74 15.3	5409	1.491	68.81616	68.86644	0.02117		0.00000	68.86644	5408.75781
	75 15.4	5310	1.324	67.04518	67.60767	0.01880		0.00000	67.60767	5309.89355
	76 15.5	5426	1.553	65.75172	69.08900	0.02288		0.00000	69.08900	5426.23730
	77 9.1	4744	1.162	60.13941	60.40211	0.01651		0.00000	60.40211	4743.97070
	78 9.2	4867	1.276	59.02544	61.97308	0.01813		0.00000		
	79 9.3	4864	1.425	61.77911	61.92587	0.02022		0.00000	61.92587	4863.64648
	80 9.4	4884	2.911	62.18901	62.18901	0.04149		0.00000	48.93445	3843.30273
	81 9.5	5393	1.555	68.29819	68.66969	0.02212		0.00000	68.66969	5393.30469
	82 11.1	5339	1.425	67.92342	67.98200	0.02027		0.00000	64.45846	664.32617
	83 11.2	5260	1.429	63.29726	66.97532	0.02031		0.00000	66.97532	5260.22949
	84 11.3	5104	1.951	64.06813	64.98640	0.02776		0.00000	58.09645	4562.88477
	85 11.4	5380	2.010	68.26169	68.50633	0.02860		0.00000	53.20855	4178.98975
	86 11.5		5489	65.76322	69.88360	0.02260		0.00000	69.88360	5488.64502