

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a környezettudatosság, gazdaságosság és a fenntarthatóság az emberiség és ezzel együtt a különböző iparágak egyik meghatározó célját képezik. Ez a dolgozatom témáját is érinti, ugyanis a járműiparban a könnyűépítés és a környezetbarát koncepciók megtervezése és kialakítása kiemelkedő szerepet játszik. A környezetbarát üzemeltetéshez a járművek súlyát is csökkenteni kell, mely a károsanyagok kibocsátásának és az energiaszükséglet mértékének csökkenését eredményezi. A járművek súlyának csökkentésére több lehetőség is kínálkozik, mint például az alumínium és annak különböző ötvözetének vagy vegyes anyagpárosítások alkalmazása. Továbbá lehetséges választás lehet a kötőelemek pontos és tervezett megválasztása. A csavarozás, szegecselés, nagy mennyiségű hozaganyaggal járó kötőelem hozzáadása a szerkezetünk tömegének további növekedésével jár. Erre megoldást jelent a ragasztás, mint kötéstechológia. A ragasztás napjaink legkorszerűbb anyaggal záró, a felületi érdekesség, miatt részben alakzáró, roncsolás nélkül nem oldható kötési technológia. A ragasztás főbb előnyei közé tartozik a jó tömítőképessége, kifáradással szembeni nagyobb ellenállóképessége, illetve a jó rezgési és lengéscsillapító elnyelő képessége [1–3].

Dolgozatomban elsősorban a különböző felületmódosító eljárásokkal kezelt alumíniumfelületek ragasztástechnológiájának kutatásáról és fejlesztéséről szólnak. A kutatómunkám alatt elvégeztem a szükséges irodalomkutatást, mely alapján kidolgoztam a saját munkám során elvégzendő felületkezelési és ragasztási technológiákat, illetve a mérési feladatokat. A dolgozatomban bemutatásra kerülnek az elvégzett mechanikai, kémiai és lézersugaras felületkezelési technológiák, az elkészített ragasztott húzási- és nyírási próbatestek, a kezelt felületeken mért peremszög értékek, a felületek energiája és azok időszerinti megváltozása, a felületi érdekesség mérések eredményei, makroszkópos és mikroszkópos felvételek, a ragasztott kötések szilárdsági vizsgálatainak eredményei, valamint a kötések tönkremeneteli módjairól készült fényképek. A mérési eredményeim nem csak bemutatom, szemléltetem, hanem magyarázom, indoklom is a kapott értékeket.

Dolgozatomban a motivációt a téma aktualitása, fejlesztésre szorulása jelentette, ugyanis az alumíniumfelületek ragasztása egy kiforratlan, világszerte kutatott és jelenleg is kísérletek témáját szolgáló technológia. Ebből kifolyólag a különböző felületkezelési eljárások felhasználásával szeretném az alumínium járműipari ragasztástechnológiájának húzó- és nyírószilárdságának értékeit megnövelni, megőrizni [3].

2. IRODALOMI ÁTTEKINTŐ

2.1. Az alumínium legfőbb jellemzői

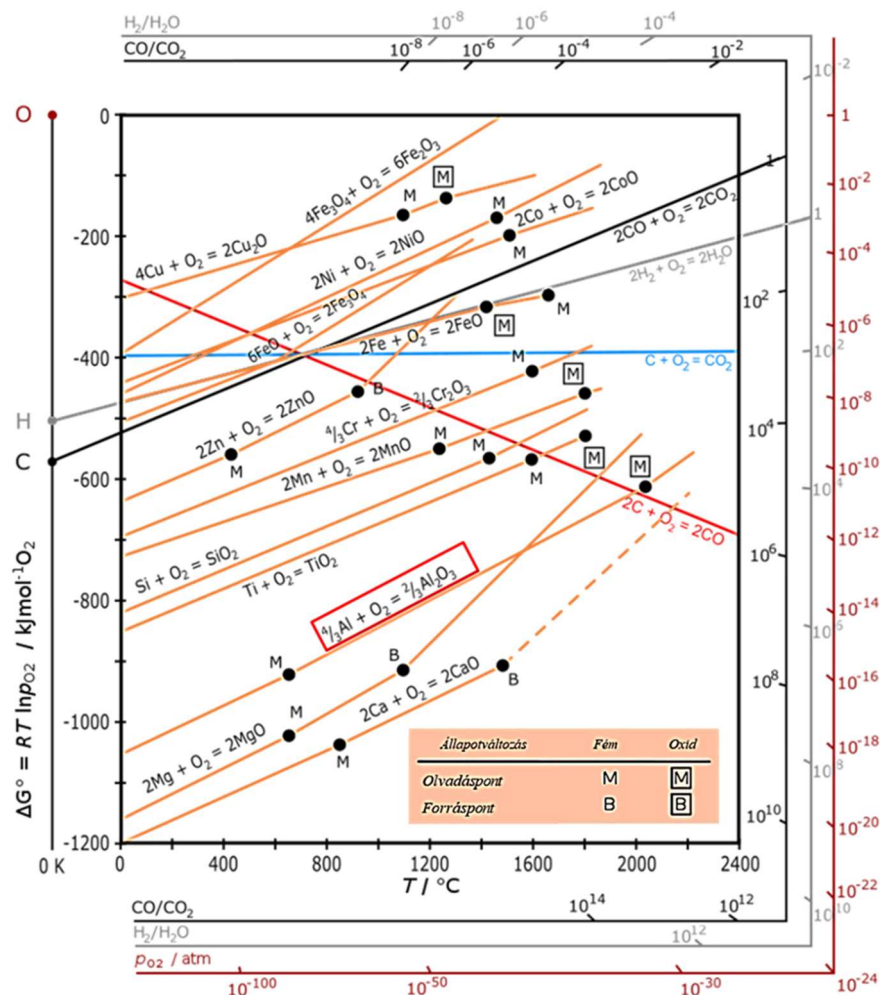
Az alumínium a könnyűfémek csoportjába tartozik, felhasználás, hasznosítás szempontjából a legfontosabb könnyűfém. A tulajdonságai közül kiemelkedő a jó elektromos és hővezető képessége, a korrózióállósága, amely igen magas a felületén létrejövő vékony, egybefüggő, kémiai hatásoknak jól ellenálló oxidhártának (Al_2O_3) köszönhetően. Továbbá jól alakítható, megmunkálható, alacsony olvadáspontú (kb. 660°C), illetve sűrűsége az acélokhoz képest kicsi ($2,7 \text{ kg/dm}^3$), allotróp módosulattal nem rendelkezik. Lapközepes köbös kristályszerkezete, miatt képlékeny alakíthatósága kitűnő, mivel több csúszásra alkalmas kristálytani síkkal rendelkezik (nagy atomsűrűség). Nyúlása hozzávetőlegesen 50%-kal jobb, mint a lágyacél. Szilárdsági szempontból rendkívül alacsony értékekkel jellemezhető, ugyanis folyáshatára, keménysége, szakítószilárdsága a lágyacél szilárdsági értékeinek negyedével ér fel. A szilárdsági jellemzői ötvözéssel javíthatók réz (Cu), magnézium (Mg), szilícium (Si) ötvözők segítségével [4, 5].

2.2. Az alumínium felületének oxidrétege

Természetes körülmények között az alumínium és alumínium ötvözetek azonnal reagálnak a levegőben található oxigénnel, így a felületükre szorosan tapadó, tömör, pórusmentes és vízmentes alumínium oxidból felépülő védőréteg keletkezik. Az alumínium oxid (Al_2O_3) ellenállóbbá, korrózióállóbbá teszi az alapfémeket. Az oxidréteg vastagsága hozzávetőlegesen $0,01\text{-}0,1 \mu$ között változik, melynek vastagsága az idő múlásával természetes úton növekedhet, így tovább növelve az alapfém ellenállóságát, korrózióállóságát a környezetével szemben. Fontos megemlíteni, hogy agresszív gázokat és sókat tartalmazó légkörben az alumínium korrózióállósága csökken. Az alumínium korrózió elleni védelmét, kopásállóságát, illetve dekoratív hatását az oxidhártya mesterséges megnövelésével szokás felgyorsítani, kialakítani [6, 7].

A gázkeverékekben, mint például a levegőben a komponensek koncentrációja arányos értékű a komponensek parciális nyomásával. Ezt bizonyítja az a jelenség is, hogy a föld felszínén lévő 1 bar nyomás meglétéhez az oxigén $0,2 \text{ bar}$ értékű nyomása szükséges, mivel jelenléte 20%-os az atmoszférában. Ez alapján került meghatározásra, kiszerkesztésre az 1. ábrán látható Ellingham-diagram. Az Ellingham-diagram a fémoxidok képződésével járó standard energia változásokat ábrázolja a hőmérséklet függvényében. Az oxid termodinamikai stabilitása, valamint a körülvevő közeg oxigén parciális nyomása között a $\Delta G = R \times T \times \ln p_{\text{O}_2}$ összefüggés teremt kapcsolatot. Az oxid képződés megindul az oxidra vonatkozó egyenes fölötti (nagyobb) oxigénparciális nyomás meghaladásával, míg kisebb értékű nyomás esetében, az oxid elbomlik az adott hőmérsékleten. Szilárd oxidok esetében a pozitív iránytangensű egyenesek bizonyítják azt az általános tapasztalatot, hogy a hőmérséklet növekedésével,

nagyobb oxigénparciális nyomás szükséges az oxid képződéséhez. Az 1. ábrán jól látható, hogy az alumínium-oxid (Al_2O_3) képződési szabadenergiája nagyobb, mint a vasé. Ezesetben az alumínium, vas olvadékba való adagolása során oxigéntartalom csökkenést eredményez, melynek köszönhetően Al_2O_3 képződik és a salakba kerül, ezáltal a vas olvadékot dezoxidálja. Jellemzően ezt a folyamatot az acélgyártás során alkalmazzák [8, 9].



1. ábra: Az Ellingham diagram szemléltetése [8]

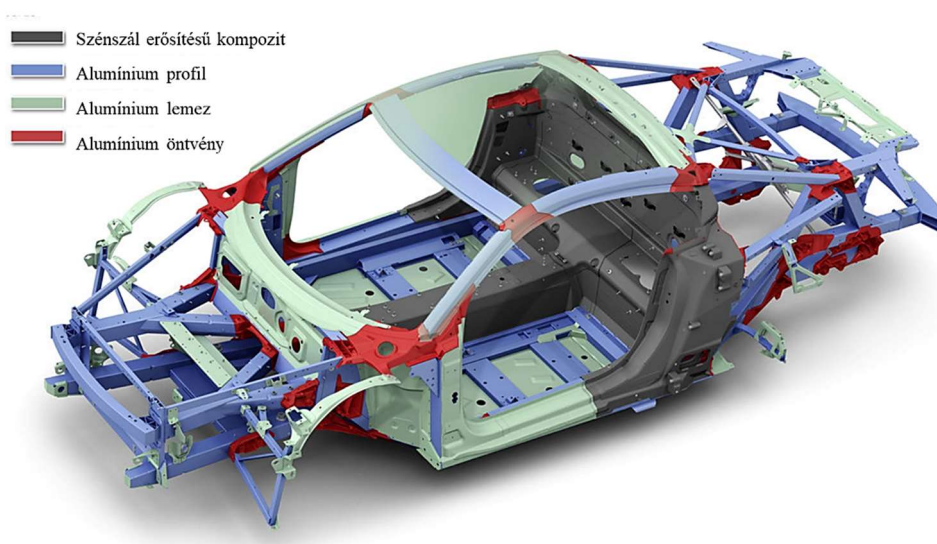
2.3. Alumínium jelentősége az iparban

Az alumínium ötvözetek közlekedés, illetve járműipari felhasználásában rendkívüli lehetőségek rejlenek. Az alumínium, karosszéria alapanyagként való felhasználása előnyös a súlycsökkentés szempontjából, amely az üzemanyag fogyasztás mértékének csökkenésével jár. Továbbá visszaesik a károsanyag kibocsátás mennyisége, valamint a gazdaságosabb üzemeltetés fogyasztói követelményének is eleget tesz. Az alumínium ötvözetek sűrűsége többnyire alacsony és a súlyarányukhoz képest a szilárdságuk és merevségük jelentős. A hagyományos anyagokkal szemben az alumínium alkalmazása során 50% feletti súlymegtakarítás érhető el a szilárdság és a biztonság veszélyeztetése nélkül. Ahogy a fentiekben említettem, az alumínium ötvözetek még számos pozitív tulajdonsággal

rendelkeznek, amelyek alkalmassá teszik őket az autó, illetve közlekedés iparban való felhasználásra [1–3, 10].

2.3.1. Az alumínium jelentősége a gépjárműiparban

Az Európai Unió területén található autókban átlagosan 140 kg alumínium található. A tisztán alumínium karosszériájú autókban (pl. Jaguar XJ, Jaguar XE, Range Rover, Audi A8) ez a szám elérheti az 500 kg-ot is. Jellemző, hogy az átlagosnál több alumínium felhasználással készülő autók, a prémium kategóriák termékei. Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján, az alumínium karosszéria alkalmazása 70-140 kg tömegcsökkenést jelent típustól függően. Amennyiben az alumínium felhasználása az autógyártásban ilyen ütemben fejlődik, éveken belül nagymértékben csökkenhet a járművek súlya, károsanyag kibocsátása. A karosszéria tömegének csökkenése a járművek tömegétől függő alkatrészek méretének, illetve tömegének csökkenését eredményezi, mint például a hajtáslánc elemei a felfüggesztés elemei, valamint a kisebb méretű motorok alkalmazhatósága. A 2. ábra szemlélteti, hogy az autókban jellemzően a lökhárító, műszerfal, ütközési zónák, tetőöv, különféle keretek, az A és B oszlop, esetenként a teljes karosszéria, ülések, bukóterek, szélvédőkeret, elektronikai részek, hőcserélő, légkondicionáló ventilátor, fűtőcsatorna elemek és azok részei készülnek alumínium ötvözetekből. Részben az autómárkák közötti versenynek, részben az Európai Unió szabályozásainak köszönhetően az alumínium anyag-és technológiai fejlesztések, a kutatások kiemelt témái lettek. A 2. ábra egy Audi R8 Coupé vázfelépítését szemlélteti, hogy a világ meghatározó járműipari gyártók is a szabályozásoknak köszönhető fejlesztések mellett a súlycsökkentés szempontjából is egyre több helyen alkalmaznak alumíniumot a járművekben [1, 10, 11].



2. ábra: Audi R8 járművázában található szerkezeti anyagok [12]

2.3.2. Az alumínium jelentősége a hajóiparban

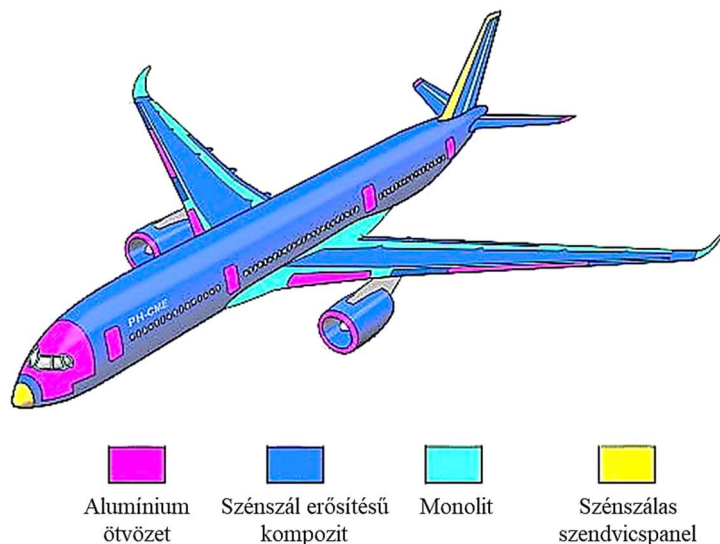
A hajóépítés történelmében, számos anyagból építettek hajókat. Sok időnek kellett eltelnie, amíg a hajóépítésben a fa alapanyag használatát felváltotta a fémek, azon belül is az acél használata.

Az alumínium, hajóiparban való alkalmazása már hosszú múltra tekint vissza, de a sok kedvező tulajdonságának ellenére sem tudott úgy elterjedni, mint az acél. Az alumíniumot a kishajóépítésben, mint például a különféle rendeltetésű evezős-, motor- és mentőcsónakok, illetve vízibuszok, katamaránok és nagysebességű személyhajók építésénél használják. Az ilyen járműveknek viszonylag kis tömegűeknek, könnyen felgyorsíthatónak, illetve a hajótestet érő erőhatásoknak is alacsony határok között kell lennie.

A nagyobb igénybevételeknek kitett hajókon az alumínium csak másodlagos szerkezeti anyagként használatos. Az alumínium alkalmazásának elterjedését a gyengébb szilárdsági tulajdonságai, illetve néhány esetben az alacsony gyulladási hőmérséklete (kb. 270°C) akadályozza [13].

2.3.3. Az alumínium jelentősége a repülőgép iparban

Napjainkban a repülőgépek, illetve a kormányozható léghajók készítésére használják a legtöbb alumíniumot. A teljesen tiszta, lágy alumínium helyett, annak nagy szilárdságú ötvözetait alkalmazzák. Ezeket az ötvözeteket a repülőgép vázának és a nagy erőhatásoknak kitett részek építésénél használják. A kisebb igénybevételű részeket könnyű, magnézium-alumínium ötvözetekből készítik. Ezeket a ötvözeteket, úgynevezett elektron fémeknek hívjuk, melyek fajsúlya kisebb, mint az alumíniumé (elektron-fém sűrűség 1700 kg/m³, alumínium sűrűség 2700 kg/m³). Az ilyen elektronfémek összetétele 90-95% magnézium (Mg), 2-5% cink (Zn), 3-5% alumínium (Al). Ahogy azt 3. ábra is bizonyítja a repülőgépek olyan fontos elemei készülnek belőle, mint a légcsavar, szárnyfelület elemei, illetve a külső borítások [14- 16].



3. ábra: Airbus A350 repülőgép vázában található szerkezeti anyagok [17]

2.3.4. Az alumínium jelentősége más iparágakban

Az alumíniumot, mint alapanyagot nagy mennyiségben használják az élelmiszeriparban csomagolóanyagként, konyhai eszközök gyártására, elektronikai iparban, illetve az építőiparban.

Az élelmiszeripar esetében a legtöbb alumíniumot a különféle alumínium, illetve papírdobozos üdítőitalok, konzerves ételek csomagolásához használják. A konyhában megtalálható evőeszközök, főzőedények, szifonok, szívószálak is gyakran alumíniumból készülnek.

Az alumínium a hőmérséklet, időtartam, étel kémiai összetétele, PH függvényében beoldódik a benne tárolt vagy készített ételekbe és italokba. Ez rossz hatással van az emberi szervezetre, ezért óvintézkedéseket vezettek be (teflon), ebből kifolyólag manapság kevésbé használatos alapanyag az élelmiszer-csomagolóiparban [18].

Bár az alumínium nem a legjobb áramvezető, a viszonylag alacsony ára és tömege, miatt rendkívül népszerű az elektronikai iparban. A CPU hűtéséhez szükséges bordák, illetve a grafikus kártyák alapvető eleme. Továbbá nagyfeszültségű tornyok építéséhez használják, ahol a rugalmasság és a gazdaságosság mellett a vezetékek súlya is fontos. Kiváló korrózióállósága és könnyű hegeszthetősége, miatt az elektromos háztartási gépek, mint például a kályhák, hűtőszekrények, mosógépek, sütők gyártásánál is előszeretettel alkalmazzák [19, 20].

Az építőiparban az alumínium alapvető jelentőségű a különféle állványok, zsaluzatok, illetve épületgépészeti rendszerek esetében is. Legtöbbször a nyílászárók, ereszcsovek, csatornaelemek, tetőfedő elemek, illetve szerkezetek elkészítéséhez alkalmazzák. A nagy mechanikai igénybevételek, miatt az efféle szerkezetek megépítéséhez alumínium ötvözeteket használnak [21, 22].

2.4. Az alumínium ötvözetek

Az alumínium nyúlásának értéke közel 50%-kal nagyobb az acéléhoz képest, de a folyáshatára, keménysége, illetve szakítószilárdsága a lágyacélénak alig negyede. A nagy igénybevételű alkalmazásokhoz az alumínium szilárdságát növelni kell.

Számunkra a legfontosabb szilárdság növelő eljárás az ötvöztetés, mivel a legtöbb iparágban az ötvözött alumíniumot alkalmazzák. A fémötvöztet látszatra egynemű fémes anyag, amely két vagy több fém, fémekhez közelálló elemek vagy nemfémes elemek alkotnak. Az ötvöztetés többnyire a fémek megolvasztása útján megy végbe, általánosságban a fémek folyékony állapotban korlátlanul oldják egymást, azonban az alumínium egy kivétel [16, 23].

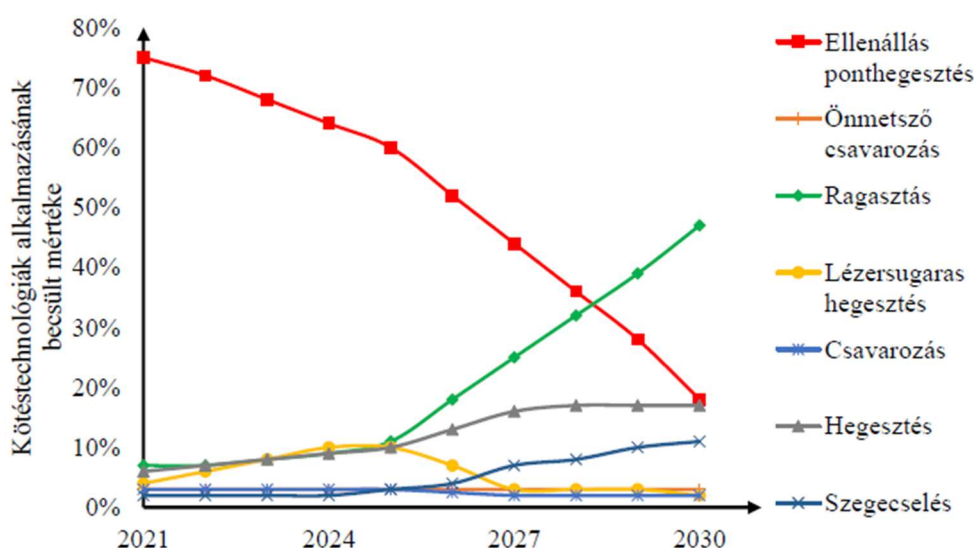
Kutatásom során az 1xxx és a 6xxx jelölés ötvöztetű alumíniumból készült lemezek, profilokat vizsgálom. Az általam vizsgált alumínium ötvöztetű minták nem nagy szilárdsággal rendelkeznek, ellenben jól alakíthatók és jó korrózióállósággal rendelkeznek. A kutatás során nem az alumínium, hanem a ragasztó szilárdságát vizsgálom, így jelentősebb szempont a gépjárműiparban is fontos korrózióállóság és a könnyű alakíthatóság [24].

2.5. Kötéstechnológiák alkalmazása a járműiparban

Az anyagok összeilleszthetőségének optimalizálásához meg kell vizsgálni a modern eljárásokat, illetve a kötéstechnológiák fejlesztését az alapanyagok fejlődési tendenciájához kell illeszteni. A CAR (Center of Automotive Research) becslései alapján készült diagramon

(4. ábra) jól kivehető, hogy 2030-ig a járműipari fejlesztésekkel összhangban miként változnak meg a különböző kötésteknológiák alkalmazása [1].

Ahogy azt a 4. ábra is mutatja, a mai modern járműipari kötésteknológiák közül az ellenállás ponthegeztés, lézersugaras, illetve a hagyományos hegeztéssel készült kötések a leghasználatosabbak. Emellett a modern szegecseleési, csavarozási technológiák a stagnálásuk ellenére is kiemelkedő népszerűséggel bírnak. Továbbá megtudhatjuk, hogy a ragasztásteknológia terén hatalmas fejlődés, nagy mértékű felhasználás várható. Ez a nagy mértékű fejlődés olyan jelentős, hogy a manapság leghasználatosabb ponthegeztést is felválthatja a közeljövőben. Érezhető módon a ragasztásteknológia egy korábban fellendülést nyert, mai napig innovatívan előre törő eljárás, így a továbbiakban csak ezt a technológiát ismertetem, hiszen kutatásom szempontjából is ez a legfontosabb terület. Az alábbiakban ezt a technológiát mutatom be [1, 2, 25].



4. ábra: Járműipari kötésteknológiák alkalmazásának aránya napjainktól 2030-ig [1]

2.6. Ragasztásteknológiák áttekintése

2.6.1. Ragasztás általános jellemzői

A ragasztás az egyik legmodernebb, alapvetően anyaggal záró kötés, a felületi érdesség, miatt részben alakzáró és roncsolás nélkül nem vagy csak korlátozottan oldható kötésnek minősül. A ragasztás egyaránt alkalmas a fémfelületek, fémes és nem fémes felületek, illetve a műanyagok összeillesztésének kialakítására. A ragasztott kötés a ragasztandó anyag(ok)ból, illetve a ragasztóból tevődik össze. A kötés vegyi reakció révén, szintetikus anyag jelenlétével jön létre. A ragasztott kötések széles körben való alkalmazásuk annak köszönhető, hogy számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek a többi technológiához képest. A legnagyobb előnye, hogy a folyamat során nem éri hőterhelés a darabot. Továbbá a ragasztóanyag rezgécscsillapító hatású a kötésben, jó a szigetelőképesége, zajcsökkentő hatással rendelkezik, jó a tömítési tulajdonsága és alacsony a gyártási költsége [2, 26].

2.6.2. A ragasztott kötés előnyei, hátrányai

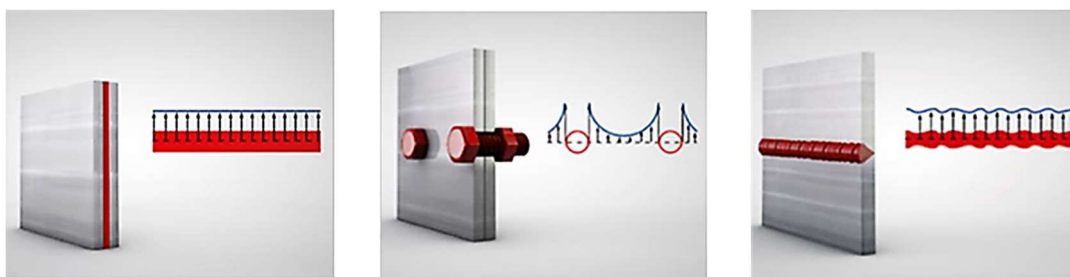
Az alábbiakban a ragasztott kötés előnyeit, illetve hátrányait szemléltetem. A ragasztott kötések előnyei a következők.

Kisebb a kötésből adódó többletsúly, mint a hegesztési vagy a csavarozási eljárások esetében. Kevesebb szerkezeti elem szükséges a kötés kialakításához, nincs szükség alátétre, anyára, szegecsekre, csapokra. Egyenletes feszültségeloszlást eredményez, nincs feszültségcsúcsot kialakító furat, horony vagy egyéb megoldás. A kötni kívánt anyagok nem károsodnak, anyagtulajdonságuk nem romlik. A ragasztott alkatrész nem nyúlik, vetemedik. Lehetséges a különböző anyagtulajdonságú darabok kötése (pl.: fém-, fa, műanyag, kerámia, bőr, üveg), ezek bármelyikének-bármelyikéhez való kötése. Rezgés csillapító hatása magas. Kevésbé fontos az illeszteni kívánt alkatrészek tűrése. Az alkatrészek felületének mérete kis jelentőséggel bír, nagy felületű testek is jól ragaszthatók. A kötések létrehozása, nincs hőmérséklethez kötve. Cseppfolyós és légnemű közegek esetében a kötés kiváló tömítő és szigetelő tulajdonságú. Az illesztés esztétikusabb megjelenése, a hegesztett varratokkal, csavarokkal, szegecsekkel szemben. Továbbá beruházási és megmunkálási költsége alacsony [26].

Valamint a ragasztott kötés hátrányai a következők.

A kötni kívánt felületek alapos előkezelést, előkészítést igényel a ragasztás előtt (felület tisztítása, mechanikai-, kémiai előkezelés). Magasabb hőmérséklet esetében, a kötés szilárdsága csökken. Öregedésre hajlamos, érzékeny az ultraviola sugárzásra, a levegő oxidációjára. A kikeményítés során esetleges nyomást vagy melegítést kell alkalmazni. Nagy a kivitelezési idő, meg kell várni a kémiai folyamatok végét. Főleg átlapolt kötés esetében alkalmazható, jelentősen kisebb a szilárdság, mint a hegesztett kötések esetében, illetve gyártáskor, felhasználáskor, valamint a termék megsemmisítésekor egészségre ártalmas, környezetszennyező anyagok keletkezhetnek [26].

Sík felületek összeillesztésekor 3 féle kötéstípust különböztethetünk meg. A mechanikus kötés csoportjába tartozik a csavarokkal, szegecsekkel illesztett kötés. A termikus kötés csoportjába tartozik a hegesztett, keményforrasztott és lágyforrasztott illesztés. A ragasztást a vegyi úton történő kötés foglalja magába. A hagyományos kötéstechnológiákkal szemben a ragasztott kötés nagyszámú előnnyel rendelkezik. A terhelésátadás egyenletesebb, mint a csavarozott, hegesztett kötések esetében. Az 5. ábra kepeiről jól megállapítható, hogy a ragasztott kötés esetében elmarad a helyi feszültségkoncentráció, a csavarozásból adódó gyengítés, illetve feszültséghalmozódás [26–28].



5. ábra: Különböző kötéstechnológiák alkalmazásának feszültségeloszlása [26]

A ragasztóanyagok több évtizede tartó fejlesztése, kutatása során, rendkívül sok ragasztóanyagot hoztak létre, fedeztek fel. Manapság a ragasztóanyagok széles választéka lelhető fel a kereskedelmi forgalomban. A ragasztóanyagok olyan nemfémek anyagok, melyek a szilárd anyagok felületét tapadással és saját szilárdságukkal kötik össze anélkül, hogy az összekötött anyagok szerkezeti felépítése vagy eredeti tulajdonságai lényegesen megváltoznának. A természetes ragasztóanyagok lehetnek növényi alapúak, állati eredetűek és illetve ásványi alapúak. A szintetikus ragasztóanyagokhoz tartoznak a polikondenzációs, poliaddíciós és a polimerizációs anyagok [29].

A ragasztóanyagokat az alábbi 1. táblázat szerint csoportosíthatjuk.

1. táblázat: Ragasztóanyagok csoportosítása származása és készítésük alapján [29]

Ragasztóanyagok					
Természetes (módosított)			Szintetikus		
Növényi	Állati	Ásványi	Polikondenzáció	Poliaddíciós	Polimerizációs
Cellulózészterek	Kazeinenyvv	Üveg	Fenolplasztok	Poliuretánok	Polibutedién
Cellulózéterek	Gluteinenyvv	Kerámia	Aminoplasztok	Epoxigyanták	Poliizobutién
Keményítők	Véralbumin	Bitumen	Poliészterek		Polikloroprén
Protein	enyvv		Poliamidok		Polisztirol
			Poliimidek		Poliakrilátok
			Polisziloxánok		
			Poliszulfidok		

Továbbá a hőhatással szembeni viselkedésük alapján megkülönböztethetők, a hőre keményedő műanyagragasztók, melyek a térhálósodás, keményedés után nem lágyulnak meg újra. A hőre lágyuló ragasztóanyagok, pedig hőhatásra ismét képlékennyé válnak.

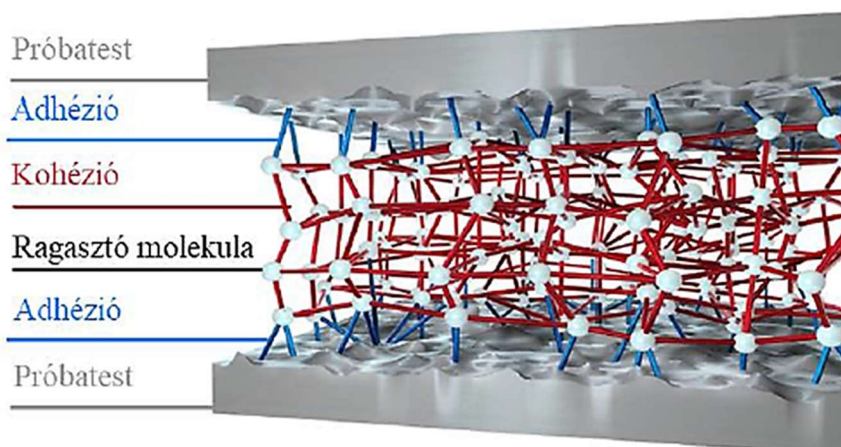
A reaktív ragasztók csoportosíthatók aszerint is, hogy egy- vagy kétkomponensű a ragasztó. Egykomponensű ragasztók általában hőhatással térhálósíthatók, a kétkomponensű ragasztóknál a térhálósodási reakció megindítását adalékkal, keményítő anyag hozzáadásával biztosítható [26, 29].

A ragasztóanyagoknak folyékony halmazállapottal kell rendelkeznie a ragasztott kötés készítése során. A folyékony állapotnak köszönhetően a ragasztó szét tud terülni a ragasztani kívánt felületen, továbbá be tudja nedvesíteni azt, ezzel biztos érintkezést létrehozva a ragasztóanyag és az összeillesztendő felületek között. A kötés létrehozásához a ragasztónak a

ragasztandó felülettel érintkeznie kell. Továbbá a ragasztónak a felülethez kell tapadnia, melyet az adhéziónak köszönhetően valósít meg. A ragasztóanyagnak ki kell töltenie a ragasztott felületeken található felületi hibákat, lyukakat, üres helyeket. Ha a ragasztó képes kitölteni ezeket a réseket, akkor tömítésként is alkalmazható. A fellépő fűrészt és dinamikus igénybevételeket a ragasztóanyagnak ki kell bírnia és el kell osztatnia a kötésben résztvevő alkotóelemek között. Napjaink leghasználtabb ragasztóanyag típusai a rugalmas kötések létrehozó fajták, ebből kifolyólag a dolgozatomban későbbi részeit a poliuretán ragasztóanyagot vizsgálom [26, 27, 29]

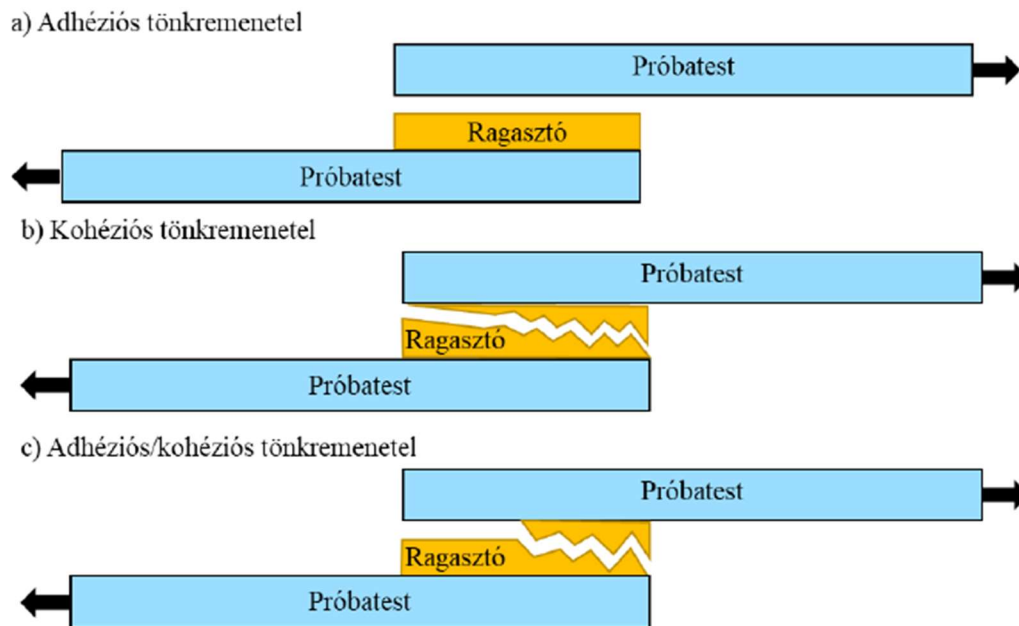
2.7. Ragasztás kötési mechanizmusai

A ragasztott kötések minőségét, milyenségét nagymértékben a ragasztandó anyag-ragasztó határfelületén fellépő, jelenlévő adhéziónak erőhatása határozza meg. Ahogy a 6. ábra is szemlélteti a ragasztásokban megtalálhatók mind az adhéziónak, mind a kohéziónak erők. A ragasztott kötés szilárdságát a két erő típus aránya határozza meg, de főként az adhéziónak tulajdonságoktól függ. Adhéziónak erőknek tekintjük két anyag molekulái között létrejövő vonzóerőt. Kohéziónak erő esetében az anyagon belül jön létre a vonzóerő [1, 2, 30, 31].



6. ábra: Adhéziónak és kohéziónak erők a ragasztott kötésekben [1]

Nemzetközi kutatások megállapították, illetve bebizonyították, hogy a ragasztott kötések három féle módon mehetnek tönkre. A kötések tönkremenetele bekövetkezhet adhéziónak, kohéziónak, illetve adhéziónak-kohéziónak úton (7. ábra). Adhéziónak tönkremenetel alatt értjük azt a folyamatot, amikor a ragasztóanyag leválik a ragasztott anyag felületéről. Kohéziónak tönkremenetel esetén a ragasztóanyag belsejében vagy a ragasztott anyagban keletkezik tönkremenetel. Az adhéziónak-kohéziónak tönkremenetel esetében, mind a kettő eset bekövetkezik, tehát a ragasztott felület egy részéről leválik a ragasztóanyag, illetve a ragasztás belsejében vagy a próbatestben is kár keletkezik [1, 2, 30–32].



7. ábra: Ragasztott kötések tönkremenetelének szemléltetése a) adhézión, b) kohéziós és c) vegyes típusok esetében [1]

A ragasztott kötések tönkremenetelének számos oka lehet. Az alábbiakban ismertetem a ragasztott kötések tönkremenetelének okait.

A ragasztóanyag elégtelen kikeményedése, térhálósodása, a megengedettnél magasabb hőmérsékleti igénybevétel, hibásan illesztett alkatrész, mechanikus túlterhelés, korrózió, illetve kúszás, valamint folyékony és gáz közegekben a ragasztóanyag roncsolódása, ragasztás hibás végrehajtása, a ragasztásba levegőbuborék, szennyeződés jelenléte, a ragasztott alkatrész felülete szennyezett, nem megfelelő körülmények között végrehajtott felületkezelés, ragasztás, nem megfelelő ragasztási hézag alkalmazása [26].

A sikeres ragasztás első fontos követelménye a felület megtisztítása. A felületre rakódott por, olaj, a nedvesség, valamint a felülethez gyengén kötődő oxid-rétegek a kötés gyengüléséhez vezetnek. Ha a felület a ragasztás előtt nincs megtisztítva, akkor a ragasztó a gyenge, szennyezett határrétegi felületekhez fog tapadni, amely ezesetben könnyen elválí a ragasztott felületektől. Ezek a szennyeződések a felületekre kerülhetnek a ragasztás előtt elvégzett technológiákból (csiszolás, homokfúvás, méretre vágás), a szállítás során, valamint a munkadarab korrózió ellen felvitt bevonatokból [1, 33].

Ezt a jelenséget igazolja Rudawska és társai kutatása is, melyben X5CrNi181 rozsdamentes acél felületét alkohollal tisztították meg, ezzel zsírtalanítva és olajtól, egyéb szennyeződéstől mentesítve azt. Ezt követően kétkomponensű epoxival készítettek átlapolat kötések. Csupán a tisztítás hatására kétszeresére növekedett a nyírószilárdság [33, 34].

A ragasztóanyagnak folyékony halmazállapottal kell rendelkeznie, vagy könnyen formázhatónak kell lennie. Ezáltal a ragasztó egyszerűen felvihető a felületekre úgy, hogy érintkezik, felveszi a ragasztott felületek geometriáját, mikro-, illetve makro mérettartományokban is. Ha nem képes a ragasztó megfelelően nedvesíteni a felületet, kis

levegő buborékok szorulhatnak be a ragasztandó felület érdességi profiljába, mely a kötési szilárdság csökkenését eredményezi (8. ábra) [1, 28, 32, 35].



8. ábra: Szemléltető ábra a ragasztásnak kedvezőtlen (felső) és a kedvező (alsó) nedvesítésről [1]

2.8. A felületi energia meghatározása

A ragasztástechnológiai fejlesztések során a különböző alapanyagok felületi adhéziójának növelése az elsődleges cél. A felületi adhézió növelése a határfelületek módosításával elérhető. Az összekötni kívánt elemek határfelületei az adott állapottól függően lehetnek szilárd-folyadék, szilárd-gáz, szilárd-szilárd anyagpárok. A határfelületi feszültség létezését támasztja alá a molnárpóloska vízen járása, valamint a szappanbuborék gömb alakja. A felületi feszültség és a nedvesítés fogalma szorosan kötődik egymáshoz és a határfelület megváltozására utal [1, 2].

2.8.1. A nyugócsepp módszerrel történő peremszög mérés folyamata

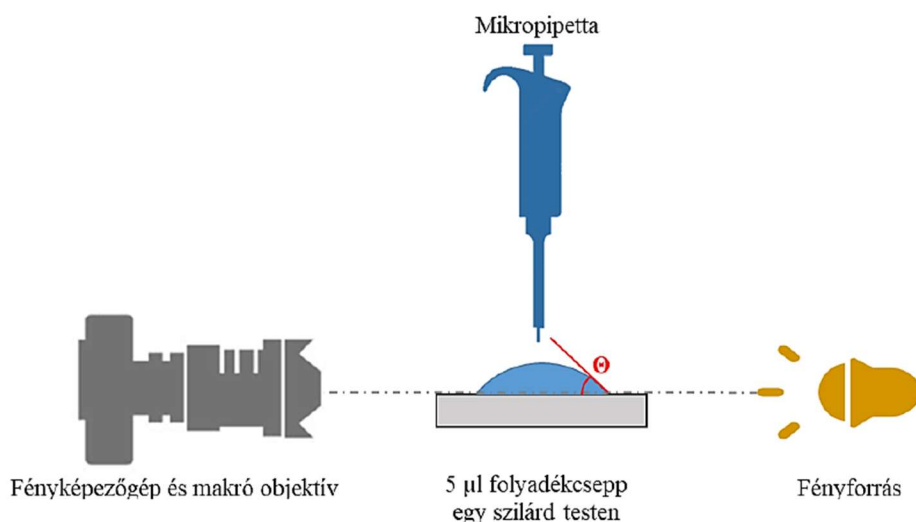
A Young által megalkotott összefüggés mai napig kapcsolatot teremt a nedvesedési peremszög és a felületi energia között, illetve alapját képezi a nedvesedési folyamatok leírásának. A nedvesedőképességet, a folyadékok szilárd felületen való szétterülésével szemléltethetjük. A nedvesedőképesség mérőszáma a peremszög (Θ), vagyis a két fázis érintkezésének illeszkedési szöge. A határfelületek tulajdonságait, illetve a szilárd felületek nedvesítőképességét is a legfelső, legkülső, néhány atomnyi távolságra terjedő réteg, annak is főként a folyadékfázissal közvetlenül érintkező atomjai vagy atomcsoportjai határozzák meg. Ezt nevezzük a független felületi hatások elvének. A megfelelő irányítottságú és szerkezetű rétegek kialakításával a nedvesítőképesség tudatosan befolyásolható. A felületkezelések változtató hatása egy standardizált és univerzálisan felhasználható nedvesítésmérési módszerrel és a hozzá tartozó számítási elmélettel jellemezhető [1, 2].

A nyugó csepp módszer, a peremszög meghatározására leggyakrabban használt mérési módszer. A mérési módszer helyes elvégzésének menete a következő. A cseppel egy vonalban egy fényképezőgép és egy fényforrás van. A vizsgálandó mintát a mérőrendszer fókuszpontjában található tárgyasztalra kell helyezni. A fényképező makró objektívjének

középtengelyének egybe kell esnie a vizsgálni kívánt felülettel, ezáltal a felület képen látott síkja, valamint az objektív szimmetria tengelye egy síkra esnek. A folyadékot egy fecskendő rendszer vagy automata mikropipetta segítségével szokás adagolni. A 9. ábra a nyugvócsepp módszeres peremszög mérés környezetét szemlélteti [1].

A csepről készült fényképről lehet a peremszög értékét megmérni szoftver alkalmazásával. A jobb és a bal oldali kontaktpontokba alapvonalat húzunk, majd a kontaktpontokból érintőket húzunk a csepp körvonalára. A nyugvócsepp mérési módszer alapja, hogy akkor készül a csepről fénykép, amikor már dinamika szempontjából nyugalmi állapotot ért el a csepp.

A nedvesítési peremszög mérések során rendkívül fontos jellemezni a felületek határfelületi energiájának értékét is (mN/m vagy J/m^2), ami egy vizsgálati folyadékoktól független mérőszám [1].



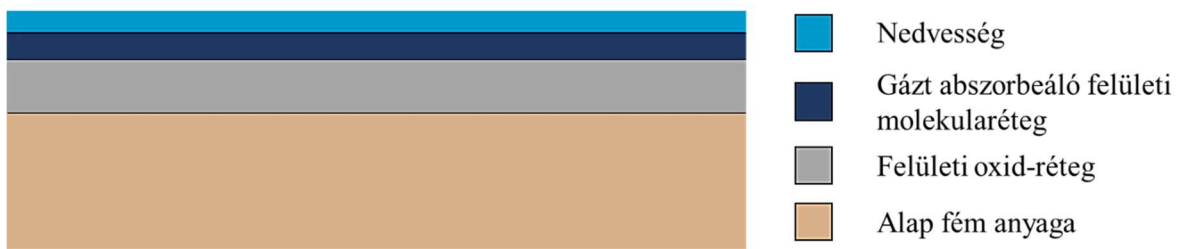
9. ábra: Nyugvócsepp módszeres peremszög mérést szemléltető ábra [1]

Terjedelmi korlátok okán a felületi energia értékeire vonatkozó számítási háttérértelmet a dolgozat 10.1 fejezet *Első számú melléklete* tartalmazza, melyek közül a Fowkes számítási módszert alkalmaztam.

2.9. Alumínium felületmódosítása

A ragasztástechnológiában az optimális eredmények elérése érdekében, rendkívül fontos a ragasztandó felületek megfelelő előkezelése, megtisztítása. A ragasztott kötés szilárdságát a ragasztóanyag, valamint az illesztési felületek közötti tapadás határozza meg. Amennyiben az illeszteni kívánt felületek előkezelése nem megfelelő, akkor a ragasztó a felületekre tapadt szennyeződésekre fog tapadni, ezzel gyengítve a kötés szilárdságát. A kötés szilárdsága annál kedvezőbb, minél alaposabban megtisztították, előkezelték a felületet a ragasztás előtt.

A felületkezelések során magyarázom és szemléltetem, hogy az adott kezelés a 10. ábra sematikus képen szereplő rétegek közül melyikben okozott összetétel változást [36].



10. ábra: Fémek szerkezetének rétegződését szemléltető ábra

2.9.1. Felülettisztítás folyamata

A legmegfelelőbb felülettisztító eljárást mindig a tisztítandó alapfém, az eltávolítani kívánt szennyeződések anyagi minősége, illetve a munkadarab alakja és méretének figyelembevételével választják ki. A zsírtalanítást nagyrészt szerves oldószerben történő mosással, közönséges vagy nagyobb hőmérsékleten üzemelő, zárható fedéllel rendelkező készülékekben végzik. A mosás hatékonysága növelhető a munkadarab mozgatásával vagy az oldószer keverésével. A zsírtalanításhoz használatos oldószerek általában alkohol alapúak.

A zsírtalanítás után a munkadarabokat egy elszívóval felszerelt speciális szárító kamrában szárítják. A felülettisztítás során a 10. ábra képen szereplő fémrétegződések közül teljes mértékben eltávolítjuk a felületi nedvességet és a gáz abszorbeáló réteget, valamint a felületi oxid-réteg egy bizonyos részét [36].

Felületmódosító eljárások:

2.9.2. Csiszolás folyamata

A csiszolási folyamatokat különböző szemcsenagyságú csiszolópapírokkal, csiszolóanyagokkal gépi, ritkábban kézi úton végzik. A csiszolófelületek elkészítéséhez általában kvarc, korund, illetve szilícium-karbid szemcséket használnak. A csiszolóanyagokat szilikát, magnezit vagy műanyag kötőanyagba ágyazva, tömör korong vagy papír formájába használják. Durva csiszolás esetében a 60-120-as, finom csiszoláshoz 180-280-as, míg polírozáshoz 320-800-as szemcséfinomságú csiszolóanyag az ajánlott. A korong ajánlott kerületi sebessége csiszoláskor 15-30 m/s, polírozáskor 25- 50 m/s. Csiszolás során teljes mértékben eltávolíthatók a felületen található nedvesség, gáz abszorbeáló filmrétegek és az oxid-réteg nagyrésze, illetve a kezelés paramétereitől függően az alap fém anyagában is szerkezeti változásokat lehet elérni [36, 37].

2.9.3. Szemcse-, homokszórás folyamata

A kvarchomokkal, illetve egyéb szemcseanyaggal történő fúvatás esetén a könnyűfémek oxidkérgé, régi festékbevonatok, szennyeződések kiválóan eltávolíthatók. Az első fúvatás során matt, bársonyos felület képződik, majd a második fúvatás után fényes, keményre tömörített felületet kapunk. Durva érdesítés esetében 4-2 szemcsenagyságú kvarchomok 400- 600 kPa történő fúvatása ajánlott. Finom érdesítéshez 1-0,5 szemcsenagyságú homokot 0,2-0,6 kPa sűrített levegő-nyomással szórnak. Ahogy a csiszolás esetében, a homokfúvásnál is az érdeesebb, durvább felület létrehozása a cél. Kis keresztmetszetű, kényes alakú felületrészek

(menetek, élek, stb.) homokfúvatással való kezelését az alapfém könnyű deformációjának eshetősége miatt messzemenőképpen kerülni kell. A homokfúvó eljárás után a felületre tapadt por, szennyeződések eltávolítása érdekében a felületet meg kell tisztítani. A szemcse-, homokszóró kezelés során a 10. ábra képen szereplő rétegek közül a nedvesség és a gáz abszorbeáló-, továbbá az oxid-réteg is teljes mértékben eltávolítható. Továbbá lényeges változtató hatása van az alap fémünk belső anyagának szerkezeti összetételére is [36, 38, 39].

2.9.4. Zsírtalanítás és oxidmentesítés lúgos oldatokban folyamata

Lúgos oldatokban történő zsírtalanítás során, lúgos anyagok, mint például a nátronlúg (NaOH), szóda (Na_2CO_3), vagy nátriumfoszfát („trisó”; Na_3PO_4) vizes oldataiba helyezzük a kezelni kívánt munkadarabokat. Az oldatok forráspont körüli hőmérsékletén a növényi, valamint állati eredetű zsíradékok, viasz- vagy gyantaanyagok elszappanosodnak, az ásványi olajok és zsírok leoldódnak a felületről. A zsírtalanító eljárás hatásfokának javítása érdekében, az oldathoz felületaktív anyagok (ún. detergenssek) adagolása erősen ajánlott. A detergenssek lúgoldatban történő alkalmazásával nő a kezelt fémfelület nedvesítőképessége és csökken a forró lúgoldat reakció közbeni habzása. A lúgos oldatban történő kezelést követően a kémiai reakció megszakítása érdekében a kezelt testeket célszerű vízzel, majd alkohol tartalmú felülettisztító szerrel kezelni. A lúgos oldatokban történő felületkezelés során a 10. ábra képen látható rétegződések közül a nedvességet, a gáz abszorbeáló és az oxid-réteg nagyrésze eltűnik a felületről [36, 40–42].

2.9.5. Forró vízzel történő felületkezelés folyamata

A forrásban lévő vízben az alumínium mintadarab felületén keletkező filmréteg, amorf, pseudo-böhmite szerkezetű, amely összetétele $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.1 \text{ H}_2\text{O}$. A kezelés elején közelítőleg $2 \mu\text{m}$ vastagságú filmréteg keletkezik. Ezt egy lassú növekedési szakasz jellemzi az első néhány perc kezelés után. Ez idő alatt a filmréteg porozitása 60%-ról, 30%-ra csökken. A réz-, vas-, illetve lítiumtartalmú oldatokban képződött filmrétegek a nem ionos oldatokban képződött rétegekhez képest jobb kötésiállóságot eredményeznek. Ioncserélt vízben történő forralás során a filmréteg vastagsága meghalad egy bizonyos határt, amely esetében olyan külső porózus réteg alakul ki, mely terhelés hatására összetartóan töredezik. A forró vízben történő felületkezelés, még fejlesztésekre, több kutatásra szorul a megbízhatóbb eredmények és a pontosabb összefüggések definiálásának érdekében. A kezelés során a víznek és az oxigénnek köszönhetően a felületi nedvesség és a gázt abszorbeáló rétegek eltűnnek és helyükre a 10. ábra képen is látható oxid-rétegre további részecskék nőnek az oxidációs folyamatok eredményeképp [43].

2.9.6. Lézersugaras felületkezelés folyamata

A lézersugaras felületkezelés során a munkadarab közel teljes tömege változatlan marad. Továbbá a munkadarab felületi jellemzői és azok rétegmélység szerinti változtatása az elérendő műszaki paraméterek szempontjából szükségesek, az optimális tulajdonságkombináció

elérésével módosíthatók. A lézersugaras felületkezelések célja a felület teherviselő képességének, szilárdságának növelése, tisztítása, kedvezőbb súrlódási viszonyainak létesítése, kopásállóságának javítása, korrózióvédelmének fejlesztése, tapadásának növelése egy adhéziós technológia alkalmazásával [1, 2, 43].

Lézersugaras felületedzés során az anyag felületét lézerrel kezelik olyan módon, hogy az ne olvadjon meg, ugyanakkor a hő hatására a vasötvözetek felületi rétegében ausztenites, majd az edző hatású visszahűlés következtében martenzites szerkezet alakuljon ki. Ennek hatására megnő a felületi réteg kopásállósága, valamint csökken a kifáradási hajlama. A lézersugaras felületedzés során a lézer teljesítménye $10\text{--}10^3 \text{ Wmm}^{-2}$ [43–45].

Az ultrarövid impulzuslézerek impulzus ideje az anyagok termikus diffúziós idejénél jelentősen rövidebb, ezáltal minimális hőkárosodás megy végbe. Az ultrarövid impulzusok nagy teljesítménysűrűségének hatására az anyag plazmává alakul, ezáltal hiperszublimáció következik be, ahol a hőhatásövezet elhanyagolható.

Az ultrarövid impulzusos lézerek lehetnek pikoszekundumos (ps, $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$), femtoszekundumos (fs, $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$), illetve attoszekundumos (as, $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$) rendszerek. Az anyagban az elektronok energiájának kiegyenlítődéhez a femtoszekundumos impulzusos lézersugárzás esetében néhány száz femtoszekundumtól néhány piktoszekundumig tartó időre van szükség. Az elektronok 1-10 ps időtartam alatt az energiájukat átadják az atomoknak, illetve ionoknak, melyek a többlet energiát a rácspont körüli mozgás amplitúdójával tárolják. A kezelt alapanyag felszíne rövid idő alatt szilárd halmazállapotból, azonnal plazma állapotúvá alakul, ezáltal kis hőhatás éri a felületet, mely a pontosabb és jobb megmunkálási lehetőséget biztosítja. Az előbbi technológiát követve, a lézersugár teljesítménysűrűségét megnövelve az anyageltávolítás segítségével az alapanyagok topográfiája tetszés szerint megváltoztatható. Az ilyen fajta eljárást lézersugaras felületi textúrálásnak nevezzük, illetve bármely alapanyag esetében mikro-, és nano léptékű mintázatok, egyedi topográfia kialakítására alkalmas. A lézersugaras felületkezelés számos előnnyel rendelkezik a többi mechanikus felület textúrálási, kémiai maratási módszerrel szemben, nagy méretpontosság érhető el. Továbbá nem igényel vegyi anyagokat, egyéb felületkezeléshez használatos fogyóeszközt, valamint nem termel hulladékot, környezetre káros anyagot. A lézersugaras felületkezelésnek köszönhetően a 10. ábra képen szemléltetett rétegek közül a nedvesség, a gáz abszorbeáló és az oxid-réteg teljes egészben eltűnik a felületről. Továbbá az alap fém anyagának felső szerkezetében a kezelés során alkalmazott paramétereknek megfelelő nanoszerkezet keletkezik [1, 43, 45, 46].

2.9.7. Bevonatképzés oldószerbázisú alapozó folyadékkal (primer) folyamata

A szerves bevonatok általában több rétegből állnak. A fémmel érintkező alapréteg a filmképző szerves anyagok és a festékanyagok mellett különféle adalékokat, lágyítókat, passzíválóanyagokat, stabilizátorokat, szikkatívoakat stb. tartalmaznak. Az oldószerbázisú alapozó folyadékok a nedvességgel reagálva vékony réteget képeznek a felületen. A vékony

réteg célja az alapfelület és a felhasznált ragasztó közötti kapcsolat létesítése. A legtöbb alapozó folyadék célja a ragasztó tapadásának növelése a felülethez. A bevonatképzéses kezelés elvégzése előtt ajánlott az alkoholos felülettisztítás, hogy a 10. ábra sematikus képén szereplő rétegek közül a nedvesség és a gáz abszorbeáló felületek teljes mértékben és az oxid-rétegek bizonyos mértékben eltávolítsuk, ezzel biztosabb, a bevonatnak kedvezőbb struktúrát létrehozva. A felületi bevonatképzés során a megmaradt oxid-rétegre új, filmréteget hozunk létre [40, 41].

2.10. Felületmódosított alumínium ragasztása nemzetközi cikkekben

Az alábbi fejezetekben a nemzetközi kutatócsapatok által elvégzett, módosított alumínium felületek ragasztásának kutatási eredményeit és az azokból készült cikkeket foglalom össze.

K. Leena és kutatócsapata az alumínium ötvözet ragasztási szilárdságát vizsgálták a különböző felületkezelések hatására. A kutatáshoz B51SWP alumíniumötvözetet, illetve epoxi gyanta ragasztót használtak. Minden próbatestet kezdetben P100-as csiszolópapírral megcsiszoltak, majd tisztítószerrel eltávolították a csiszolás során keletkezett sorját, szennyeződéseket. A kísérlet során három különböző felületkezelést is vizsgáltak. Az első felületkezelés során oldószerrel (triklór-etilén-oldat) átitatott pamutszövettel zsírtalanították a testeket. Majd 60°C-ot meg nem haladó légárammal szárították a kezelt darabokat. A második fajta kezelés során a próbatesteket 15 percen keresztül 60°C-os maróoldatba merítették, majd csapvízzel öblítették, végül 60°C-ot meg nem haladó légáramba szárították. A harmadik felületkezelés során a maratott testek egy részét BR127 primer alapozóba mártották és szobahőmérsékleten 30 percig lecsepegtették, majd 30 percig 120°C-os kemencébe szárították. A kezelt felületeken a felületi energiát, felületi topográfiát, nedvesítési peremszöget, illetve a kötési szilárdságot vizsgálták. A felületi energia diszperzív részénél a primer alapozós eljárás adta a legjobb eredményeket. A teljes felületi energia és a felületi energia poláris részének vizsgálatakor, a maróoldatban kezelt felületek eredményei lettek a legjobbak. A primerrel kezelt felületek nedvesítési peremszög értékei voltak a legkedvezőbbek (25°), míg az első módszerrel kezelt felületek eredményezték a legmagasabb (legkedvezőtlenebb) nedvesítési peremszög értékeket (65°). A kémiai maratással felületkezelt, ragasztott próbatestek eredményezték a legmagasabb nyírószilárdságot (19 MPa). A primerrel kezelt felület esetén (18 MPa) volt a szakítószilárdság. A tapadási munka viszont a primerrel is kezelt felület esetén volt a legjobb [40].

A tunéziai Monastir-i Nemzeti Mérnöki Iskola Mechanikai laboratóriumában Yasmina Boutar és kutatócsoportja a különböző felületkezelések hatását vizsgálta az alumínium ragasztott kötéseire. A kutatás során alumínium-réz ötvözetet és egykomponensű poliuretán ragasztót használtak. A kötéspróbatesteket az ASTM D 1002 szabványnak megfelelően készítették el. A felületeket először acetonos felülettisztítóval zsírtalanították, majd alapozóréteggel, primerrel kezelték. A primer alkalmazása után 15 percig szárították a

felületeket. A ragasztott próbadarabokon nyírószilárdsági tesztek hajtottak végre. A kutatási eredményekből kiderült, hogy a 0,6 μm -os felületi érdesség esetén volt a legnagyobb az átlagos nyírószilárdság, melynek értéke 3,97 MPa. A legkedvezőbb nedvesítési peremszöget a 0,6 μm -os felületi érdességű próbatestek eredményezték. A legkisebb felületi nedvesítési peremszög értéke 62,01° volt [41].

Sergio Correia és kutatócsapata a kémiai felületkezelések hatását vizsgálta, a ragasztott kötések szilárdságán. Elsőként foszforsavas anodizálással kezelték a felületet, amely során 9-12 tömegszázalékos foszforsav fürdőbe mártották a testeket. A fürdő hőmérséklete 19- 25°C között mozgott és 20-25 percig tartott a folyamat. Az oldatba 9 és 16 V közötti egyenáramot vezettek. A kutatás során a krómsavas eloxálást is vizsgálták. A krómsavas eloxálás nagyon hasonlít a foszforsavas eloxálási módszerhez. A krómsav nagyon erős oxid alumíniumréteget alakít ki a fém felületén, amely a ragasztott kötéseknel kedvező hatású. Továbbá a kénsavas anodizálással történő felületkezelést is vizsgálták, melyet alapvetően magas páratartalmú környezetben történő szerkezeti ragasztáshoz használnak. Ennek során a mintát kénsav fürdőbe helyezték, majd elektromos áramot vezettek rajta keresztül, amely egy nagyon finom, vékony oxidréteget hozott létre a test felületén, ezzel javítva a kötés szilárdságát. A kutatás során elvégzett utolsó felületkezelési módszer a Bór-kénsavas anodizálás volt. A bór-kénsavas elektrolitból származó oxidfilm festékszerű tapadással rendelkezik, amely közel megegyezik a krómsavas kezelés során képződött filmréteggel. A folyamat feszültség vezérelt és 15 V-re rampazott. A kémiai kezelések után a felületeket primerrel vonták be. Vizsgálták mindkét tapadó felület eloxálása és primerezése esetén a kötés szilárdságát. Továbbá az egyik felület anodizálása esetén, illetve a másik felület egyszerű oldószeres kendős tisztítással kezelték. A kénsavas fürdőbe mártott, illetve az AF 163-2 ragasztóanyaggal ragasztott próbatestek eredményezték a legmagasabb, 25 MPa-os kötési szilárdságot [42].

A.Spaggiari és csapata három különböző felületkezelési mód esetén vizsgálta az alumínium testek ragasztott kötésének szilárdságát. Elsőként csiszolópapírral kezelték a próbatestek felszínét. A csiszolási műveletet kézzel végezték P20 szemcseméretű csiszolópapírral, a durvább felület elérése érdekében. A második módszer esetében homokfúvást alkalmaztak, amelyet finom szemcsés 125 mm-es timföldszemcsékkel végeztek, mind alumínium, illetve acél felületek esetében is. A harmadik esetben a darabok bütyközésen estek át, amely gyémánt alakú szerszámmal, mikromintákat állít elő a darab felületén. Ez az eljárás a legegyszerűbb és leggyorsabb, ugyanis nincs szükség a tapadóelemek pontos megmunkálására. Minden egyes felületkezelés után Loctite 7063 segítségével távolították el a keletkezett felületi szennyeződéseket. A kezelések után, azonnali ragasztás szükséges a frissen megmunkált fémréteg újra oxidálódásának megakadályozása érdekében. A próbatest 2 db 100 mm hosszú, 2 mm vastag alumínium lemez, 25 mm átlapolással és 0,05 mm ragasztási hézaggal készült. Vizsgálták a szimpla egyszeres átlapolás, illetve a dupla átlapolást is.

Eredményeik kimutatták, hogy a szimpla kötésű alumínium esetén 15 MPa maximális közepes nyírószilárdság a csiszolt felületnél, ez esetben ez a legjobb. A dupla kötésű alumínium esetén 16 MPa volt a nyírószilárdság a csiszolt felület esetében [38].

A Dél-Koreában kutatási munkákat végző Chi-Vinh Ngo és Doo-Man Chum az alumínium felületi energiájának megváltozását vizsgálta különböző mechanikai felületkezelések esetében. Az alumínium felületén lézersugaras, hőkezeléses, forró vízben történő felületkezelést hajtottak végre. A lézersugaras kezeléseket nanoszekundumos impulzusú lézerrel végezték, amely 3 W lézerteljesítményre és 200 μm -os vonalszélességre volt állítva. A lézeres felületkezelés után a minták egy részét különböző időtartamra 200°C-os hőkezelésnek vetették alá, a többi mintát különböző időtartalmú forró vizes kezelésnek tették ki. Az eredményeik azt mutatták, hogy a lézersugárral létrehozott egyenletes rácsmintázat az utókezelések (hőkezelés vagy forró vizes kezelés) hatására nem változott. Az alumínium felületének nanoszerkezete a hőközlés hatására nem változott, ellenben a forró vizes kezelés után, ahol a nanoszerkezetben kisebb mértékű változás volt tapasztalható. Eredményeik továbbá azt is kimutatták, hogy a lézersugárral felületkezelt alumínium peremszög értéke $42 \pm 1^\circ$ volt. A peremszög értéke nem változott 60 nap elteltével sem. A lézerrel felületkezelt, valamint 200°C-on hőkezelt alumínium felület esetében megnövekedett a peremszög értéke. A 120 percig hőkezelt lézersugarazott alumíniumfelületek szuperhidrofób tulajdonságokkal rendelkeztek, illetve a környezeti levegőn töltött 2 hónap után is a peremszög értékük jó stabilitást mutatott. A forró vízben 10 és 120 percet töltött minták peremszög értéke 50° -ra, illetve 20° -ra csökkent. A minták hidrofílek voltak, melyek 2 hónap elteltével hidrofóbítás irányába növekedtek. Azok a minták felületei amelyeket a lézersugaras kezelést követően 10 és 120 percre vízbe merítettek, szuperhidrofilitást eredményeztek, a peremszög értékeik közel 0° értéket értek el. A minták peremszög értékei 2 hónap elteltével sem növekedtek. A kutatás során továbbá vizsgálták az 1 μl mennyiségű vízcsepp teljes szétterjedésének idejét az alumínium felületén. A 120 percig forró vízbe merített minták felületén 0,5 másodperc alatt terült szét teljesen a vízcsepp, míg a 10 percig forró vízbe merített minták felületén 1,5 másodperc alatt terült szét az adott mennyiségű folyadék. Tehát minél hosszabb ideig tartott a lézerrel kezelt alumínium felületen végzett forró vizes kezelés, annál jobb volt a szuperhidrofil felület teljesítménye, különösen a teljes szétterülés tekintetében. Kutatási eredményeik alapján a lézersugárral felületkezelt, 120 percig forró vízben utókezelt alumíniumfelületek biztosítják a legkedvezőbb peremszögértéket, valamint a leggyorsabb folyadékcsepp szétterülési időt. Továbbá az elvégzett felületkezelések, illetve utókezelések mérgező, vegyi bevonatok és oldatok nélkül alkalmazhatók, így fejlesztésükkel akár az iparban, termelésben is teljes mértékben alkalmazható kezeléseknek számíthatnak a közeljövőben [43].

3. A KUTATÁSOM CÉLKITŰZÉSEI

Az adott fejezetben az irodalomkutatásom során szerzett tapasztalatokat és az abból felállított kutatási projekttervem ismertetem. A kutatásom során többek között tanulmányoztam a nemzetközi kutatócsoportok alumínium felületmódosítása és a ragasztás szilárdsága között végzett kutatásukból készített cikkeket, valamint az alumínium lehetséges felületkezelési módszereit. Továbbá tanulmányoztam a ragasztástechnológiát befolyásoló tényezőket és a ragasztott kötés mechanizmusait. Megismertem a nyugvócsepp módszeres peremszög mérés által meghatározható felületi energia tulajdonságait, alapjait, lényegességét.

Az irodalomkutatásom végeztével kijelenhetem, hogy tudományos hiány van az alumínium ötvözetek ragasztástechnológiájának terén. A nemzetközi cikkekben található kutatások során, ugyan vizsgálták a kezelt felületek energiáját, érdességét és a ragasztott kötések szilárdságát, de egyik kutatócsoport sem végezte el az összes vizsgálatot, nem tett megállapítást az energiára-, érdességre-, szilárdságra vonatkozó vizsgálatok közötti összefüggésekre. Erre az irodalomkutatásom során felfedezett tudományos hiányra hivatkozva fogalmazom meg a kutatásom célkitűzését.

Kutatásom és dolgozatom fő célkitűzése az alumínium ötvözetek ragasztástechnológiájának vizsgálata és fejlesztése különböző felületkezelési módszerek alkalmazásával. Illetve az összefüggések megállapítása a kezelt felületek energiája, érdessége és a ragasztott kötések szilárdsága között.

4. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK, MÓDSZEREK

4.1. A kutatáshoz használt alumínium

A kutatásomban vizsgált ragasztott kötések elkészítéséhez az Alukonstrukt Építőipari Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. biztosította a ragasztóanyagot, alumínium lemezeket, illetve L-profilokat. A kutatáshoz felhasznált alumínium lemezek, profilok spektroszkópiai vizsgálatának eredményeit a következő 2. táblázat és 3. táblázat tartalmazza.

Alumínium lemez esetében:

2. táblázat: Az alkalmazott alumínium lemez anyagösszetétele

Al:	Si:	Fe:	Cu:	Mn:	Mg:	Zn:	Cr:	Ni:
99,5	0,114	0,210	0,0018	0,0039	0,0024	0,0058	<0,0001	<0,0003
Ti:	Be:	Ca:	Li:	Pb:	Sn:	Sr:	V:	Na:
0,0274	0,0001	0,0015	<0,0001	<0,0006	<0,0004	0,0001	0,0171	0,0013
Bi:	Zr:	B:	Ga:	Cd:	Co:	Ag:	Hg:	Sb:
<0,0015	0,0056	0,0029	0,0115	0,0019	<0,0010	0,0015	0,0061	0,0059
P:	Ce:	La:						
0,0022	<0,0006	0,0015						

Az alumínium lemez spektroszkópiájából megállapítható, hogy az általunk vizsgált alumínium a 1050-es ötvözetsorszámú alumíniumok közé sorolható.

Alumínium lemez (EN AW-1050A)

A vizsgált alumínium lemez 99,5% alumíniumot, továbbá 0,114% szilíciumot és 0,210% vasat tartalmaz a többi kis mennyiségben szereplő összetevő mellett. A 99,5% alumínium tartalom rendkívül jónak számít, szinte teljesen tiszta alumíniumot vizsgáltunk. Az ilyen magas alumínium tartalmú lemezek, csövek felhasználása általánosan elterjedt az élet minden területén. Felhasználását illetően, hőcserélők, elektrotechnikai anyagok, vegyi berendezések, reflektorok, tükrök, járműhűtők, építőiparban homlokzati elemek, nyílászárók alapeleme.

Alumínium L-profil esetében:

3. táblázat: A felhasznált L-profil anyagösszetétele

Al:	Si:	Fe:	Cu:	Mn:	Mg:	Zn:	Cr:	Ni:
98,7	0,500	0,210	0,0053	0,0223	0,437	0,0153	<0,0001	<0,0003
Ti:	Be:	Ca:	Li:	Pb:	Sn:	Sr:	V:	Na:
0,0125	<0,0001	0,0016	<0,0001	0,0010	<0,0004	<0,0001	0,0026	0,0014
Bi:	Zr:	B:	Ga:	Cd:	Co:	Ag:	Hg:	Sb:
<0,0015	0,0027	0,0025	0,0071	0,0041	<0,0010	0,0006	0,0129	<0,0050
P:	Ce:	La:						
0,0029	0,0008	0,0022						

Az alumínium L-profiljának spektroszkópiájából megállapítható, hogy az általunk vizsgált alumínium a 6060-as ötvözetsorszámú alumíniumok közé sorolható.

Alumínium L-profil (AW-6060 AlMgSi)

A vizsgált alumínium L-profil, ahogy a 3. táblázatban is látható, 98,7%-ban alumíniumot tartalmazott, továbbá 0,5% szilíciumot, 0,437% magnéziumot és 0,210% vasat tartalmazott a többi kis mennyiségben jelenlévő összetevő mellett. Az alumínium tartalma kisebb, mint az előzőekben vizsgált lemeznek. Az ilyen összetételű alumíniumok jól hegeszthetőek, alakíthatók, tengervízzel és korrózióval szemben elleállók, jól eloxálhatóak. Általában nyílászárók, bútorok, hajóiparban a belső kialakításának kivitelezéséhez használják. Továbbá elektromos hővezetése $28-35 \text{ m/ohm} \cdot \text{mm}^2$, sűrűsége $2,7 \text{ g/cm}^3$, Húzószilárdsága $215-260 \text{ N/mm}^2$, kinyúlása 12-26 A5 és keménysége 70-80 HB.

4.2. A kutatáshoz használt ragasztóanyag

A dolgozatban vizsgált ragasztott kötések elkészítéséhez a Sika Hungária Kft. által forgalmazott Sikaflex[®] -252 ragasztóanyagot használtam.

Sikaflex[®] -252

A Sikaflex[®] -252 elasztikus, egykomponensű poliuretán ragasztóanyag, amely kifejezetten a járműiparban, illetve a fémiparban használatos nagyméretű modulok konstrukciós ragasztásához lett kifejlesztve. A Sikaflex[®] -252 típusú ragasztó előnyeihez tartozik a jó tapadása különböző felületeken, ellenállóképessége a nagy dinamikus terhelésekkel szemben és a jó hézagkitöltő képessége. Továbbá kiváló rezgéscsillapító, átfényezhető és elektromosan nem vezetőképes. A ragasztóanyag alkalmas szálerősített poliészter, kerámia, bevonatos fém és műanyag felületek ragasztására. A ragasztóanyag a levegő nedvességtartalmával reagálva térhálósodik ki. Az alacsonyabb hőmérsékleten a levegő nedvességtartalma is lecsökken, ezáltal a térhálósodáshoz szükség idő megnő. A ragasztó vízzel, tengervízzel, híg savakkal és lúgokkal szembeni ellenállósága magas. Ellenben rövid ideig elleálló üzemanyaggal, ásványi olajjal, növényi és állati eredetű zsírokkal/olajokkal szemben. Szerves savakkal, alkohollal, tömény savakkal és lúgokkal, valamint oldószerekkel szemben egyáltalán nem ellenálló. A ragasztás megkezdése előtt az alapfelület legyen tiszta, száraz és zsírtól, olajtól, portól, szennyeződésektől mentes. A Sikaflex[®] -252 felvihető a felületre kézi, sűrített levegős, elektromos kinyomópisztollyal, továbbá szivattyúrendszerrel. A nyitott idő jelentősen megrövidül a meleg és a magas páratartalom hatására. A gyártó által biztosított termék adatlapja szerint, a ragasztó húzószilárdsága 3 MPa, szakadási nyúlása 400%-os. Továbbá a húzó-nyíró szilárdsága 2,5 MPa. Ajánlott felhasználási hőmérséklete $10-35^\circ\text{C}$, valamint az alkalmazhatósági hőmérséklete $-40-90^\circ\text{C}$. Extrém hőmérsékleten a ragasztó 4 órán át ellenálló (130°C), illetve az ennél magasabb hőmérsékleten 1 órán át ellenálló (150°C) [47].

4.3. Alkalmazott felületkezelési módszerek

A felületkezelési folyamatok elvégzése előtt az alumínium lemezekből, lemezvágó gép segítségével az egyedi húzási és nyírási (ISO 4587) szabványnak megfelelő méretű mintadarabokat elkészítettem. A szabványos méretű darabokról a kezeletlen minták kivételével, alkoholos oldattal eltávolítottam a vágás, illetve tárolás, előkészítés során a felületre rakódott szennyeződések.

4.3.1. Kezeletlen felület

A kezeletlen felület esetében a méretre vágott mintákról, sima, tisztítószer mentes kendővel a vágás során a mintadarabra került olajréteget távolítottam el. A törlést követően a mintadarabokból elkészítettem a ragasztott húzási-, nyírási próbatesteket, felületi energia, illetve felületi érdesség méréseket, valamint a makroszkópos és mikroszkópos felvételeket.

4.3.2. Alkohollal tisztított felület

A mintadarabok felületének tisztítása során, alkohollal átitatott törlőkendővel távolítottam el a felületre tapadt szennyeződések. A megtisztított felületen elvégeztem a szükséges vizsgálatokat és méréseket, elkészítettem a ragasztott próbatesteket, felületi felvételeket.

4.3.3. Sika® Primer-207-tel kezelt felület

Az alkohollal megtisztított, illetve primerrel bevont felületek esetében a mintadarabokat az előző bekezdésben bemutatott módszerrel megtisztítottam. A tisztítószer elpárolgása után a Sika® Primer-207 oldószer bázisú alapozó folyadék alkalmazásával vékony bevonatot képeztem az alumínium felületeken. Az alapozó folyadékot ecset használatával juttattam, oszlattam el a kezelt felületre. A bevonat összeköttetést, kiváló tapadást létesít az alapfelület és a felhasznált ragasztó között. A primerrel bevont felületet, a gyártó által ajánlott 10 ± 2 perc kiszellőzési ideig pihentettem. A száradási idő elteltével elvégeztem a szükséges vizsgálatokat, elkészítettem a kezelt felületről a felvételeket és a ragasztott próbatesteket.

4.3.4. DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület

A mintadarabokat a tisztítási bekezdésben szereplő leírás szerint megtisztítottam. A megtisztított felületeket a DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezeltem. A felületek a gyártó által ajánlott kétszeri primerezésen estek át. A primert ecset segítségével juttattam, oszlattam el a felületen. Ezt követően a mintadarabok a gyártó által ajánlott 5-30 perces száradási időn estek át. A felület megszáradása után újabb réteg primert juttattam a kezelt felületre. A második réteg primer száradási idejének elteltével elvégeztem a szükséges vizsgálatokat, elkészítettem a szabvány méreteit követő, de egyedi elrendezésű húzási-, és szabványos nyírási- próbatesteket.

4.3.5. Fátyollal csiszolt-alkohollal tisztított felület

A mintadarabokat a tisztítási bekezdésben szereplő leírás szerint megtisztítottam. Ezt követően P320 szemcseméretűnek megfelelő textília csiszolóval megmunkáltam a ragasztandó felületet. A csiszolás során keletkezett szennyeződések alkoholos tisztítással

eltávolítottam, majd szárítógép segítségével megszáritottam a felületet. A felületkezelést követően elvégeztem a szükséges méréseket, elkészítettem a szükséges húzási-, nyírási-próbatesteket.

4.3.6. Fátyollal csiszolt-alkohollal tisztított- Sika® Primer-207-tel kezelt felület

A felületmódosítás megkezdése előtt a mintadarabok felületét a tisztítási bekezdésben összefoglaltak szerint megtisztítottam. Ezt követően a felületeket P320 szemcseméretnek megfelelő textília csiszolóval megmunkáltam. A csiszolás során keletkezett por-, sorja szennyeződések alkoholos felülettisztítással eltávolítottam. A felületek megtisztítása után a Sika® Primer-207 oldószer bázisú alapozó folyadék alkalmazásával vékony bevonatot képeztem az alumínium felületeken. Az alapozó folyadékot ecset segítségével juttattam, arányosan oszlattam el a kezelt felületre. A primerrel bevont felületet, a gyártó által ajánlott 10 ± 2 perc kiszellőzési ideig pihentettem. A száradási idő elteltével elvégeztem a szükséges vizsgálatokat, elkészítettem a szabványt követő húzási-, és szabványos nyírási próbatesteket.

4.3.7. Homokszórt-alkohollal tisztított felület

A homokszórás elvégzése előtt a mintadarabokat a tisztítási bekezdésben összefoglaltak szerint megtisztítottam. A tisztítást követően elvégeztem a homokszórási felületkezelést. A kezelés során a szemcsék kb. 45° -os szögben csapódtak a felületnek. A homokszórást $300 \mu\text{m}$ méretű kvarchomokkal végeztem. A kezelés után a felületet alkohollal megtisztítottam a ráakódott por-, homok- szemcséktől, majd szárítógép segítségével megszáritottam a felületet. A kezelést követően elkészítettem a szükséges vizsgálatokat, méréseket és próbatesteket, mind a húzó-, mind a nyíró vizsgálatokra.

4.3.8. Homokszórt-alkohollal tisztított-Sika® Primer-207-tel kezelt felület

A homokszórásos felületkezelés elvégzése előtt a mintadarabokat a tisztítási bekezdésben összefoglaltak szerint megtisztítottam. A tisztítást követően a felületek homokszóráson estek át. A kezelés során a szemcsék kb. 45° -os szögben csapódtak a felületnek. A homokszórást $300 \mu\text{m}$ méretű kvarchomokkal végeztem. A kezelés után a felületet alkohollal megtisztítottam a ráakódott por-, homok- szemcséktől, majd szárítógép segítségével megszáritottam a felületet. A szárítást követően a kezelt felületre Sika® Primer-207 juttattam ecset segítségével. A primerrel bevont felületet, a gyártó által ajánlott 10 ± 2 perc kiszellőzési ideig pihentettem. A száradási idő elteltével, elvégeztem a meghatározott vizsgálatokat, elkészítettem a szilárdsági mérésekhez szükséges próbatesteket.

4.3.9. Csiszolópapírral csiszolt-alkohollal tisztított felület

A szabványos méretre vágott mintadarabokat a tisztítási bekezdésben szereplő leírás szerint megtisztítottam. A megtisztítást követően a felületeket P60-as csiszolópapírral, kézi csiszolással megmunkáltam. A csiszolás végeztével a felületeket alkohollal megtisztítottam a keletkező sorja, szennyeződésektől, majd szárítógép segítségével megszáritottam a kezelt

felületeket. A felületkezelést követően elvégeztem a méréseket, elkészítettem a húzási-, nyírási- vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket.

4.3.10. Csiszolópapírral csiszolt-alkohollal tisztított-Sika® Primer-207-tel kezelt felület

A szabványos, méretre vágott mintadarabokat a tisztítási bekezdésben szereplő leírás szerint megtisztítottam. A tisztítás után a felületeket P60-as csiszolópapírral, kézi csiszolással megmunkáltam. A csiszolás végeztével a felületeket alkohollal megtisztítottam a keletkező sorja, szennyeződésektől, majd szárítógép segítségével megszáritottam a kezelt felületeket. A szárítást követően a kezelt felületre Sika® Primer-207 juttattam ecset segítségével. A primerrel bevont felületet, a gyártó által ajánlott 10 ± 2 perc kiszellőzési ideig pihentettem. A száradási idő elteltével, az előírt vizsgálatokat mellett, elkészítettem a szilárdsági vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket.

4.3.11. Nátrium-hidroxiddal maratott-alkohollal tisztított felület

A felületkezelés elvégzése előtt a felületet megtisztítottam a tisztítási bekezdésben összefoglaltak szerint. A tisztítást követően a mintadarabokat $0,1 \text{ mol/dm}^3$ anyagmennyiség-koncentrációjú nátrium-hidroxid oldatba helyeztem. Az oldatot 5 perces időközökkel megkevertem, a mintadarabokat 50 ± 2 percig kezeltem az oldatban. A kezelést követően a kémiai folyamatok megszakítása érdekében a mintadarabokat vízzel leöblítettem, majd alkohollal megtisztítottam. Az alkoholos tisztítás után szárítógép segítségével megszáritottam a kezelt darabokat. Ezt követően elvégeztem a szükséges vizsgálatokat, elkészítettem a szilárdsági kísérletekhez előírt darabszámú húzási-, nyírási- próbatesteket.

4.3.12. Forró ioncserélt vízben kezelt felület

A felületkezelés elvégzése előtt a felületet megtisztítottam a tisztítási bekezdésben összefoglaltak szerint. A tisztítást követően a mintadarabokat forrásban lévő ioncserélt vízbe helyeztem. A kezelés 120 ± 5 percig tartott, illetve a kezelés során a víz folyamatos forrásban volt. A felületkezelést követően a mintadarabok felületei nem estek át tisztításon, a forralás során felületen keletkezett rétegek megóvása érdekében. A felületkezelés után a felületi vizsgálatok mellett, elkészítettem a húzási-, nyírási-vizsgálatok próbatesteit.

4.3.13. Ultrarövid impulzusos femtoszekundumos lézerrendszerrel kezelt felület

A lézeres felületkezelés elvégzése előtt a mintadarabokat a tisztításról szóló bekezdésben összefoglaltak szerint megtisztítottam. A lézersugaras felületkezelés során a femtoszekundumos impulzus üzemben működő Coherent Monaco 1035 nm hullámhosszú lézert alkalmaztam. A kezelés során a gép teljesítménykibocsátását 30 W állítottam, illetve a vonalszélességet $60 \text{ }\mu\text{m}$ -ra és a vonaltávolságot is $60 \text{ }\mu\text{m}$ -ra határoztam meg. A kezelés 10 ismétlésig tartott. A lézersugaras felületkezelést követően a felületen keletkezett módosult filmréteg megvédése érdekében a felületet nem tisztítottam meg. A kezelést követően elkészítettem a szükséges felületi vizsgálatokat és a húzási-, nyírási- próbatesteket.

4.3.14. Ultrarövid impulzusos femtoszekundumos lézerrendszerrel-forró ioncserélt vízben kezelt felület

A lézeres felületkezelés elvégzése előtt a mintadarabokat a tisztításról szóló bekezdésben összefoglaltak szerint megtisztítottam. A lézeres felületkezelés során az előző bekezdésben összefoglalt beállításokat alkalmaztam. A kezelést követően a mintadarabokat forrásban lévő ioncserélt vízbe helyeztem. A kezelés 120 ± 2 percig tartott, illetve a kezelés során a víz folyamatos forrásban volt. A felületkezelést követően a mintadarabok felületei nem estek át tisztításon, a forralás során a felületen keletkezett rétegek megóvása érdekében. A felületkezelés után elvégeztem a szükséges felületi vizsgálatokat, továbbá elkészítettem a szilárdsági vizsgálatok próbatesteit.

4.4. Kutatás során alkalmazott felületkezelési-, vizsgálati- eszközök, szabványok

4.4.1. Rodenstock RM400-P optikai felületi érdesség mérő

A felületkezelt mintadarabok felületének érdességét egy Rodenstock RM400-P típusú optikai felületi érdességmérő berendezéssel végeztem. Minden mérést háromszor ismételttem meg, melyek előre meghatározott úthossza 12 mm volt.

4.4.2. Nyugvócsepp módszeres peremszög mérési rendszer

Közvetlen az elvégzett felületkezelési eljárások után, a kezelt mintadarabokon nedvesítési peremszöget mértem a nyugvócsepp módszerrel. A módszernél a kiadagolt folyadékot lassú mozgással hozzáérintjük a felülethez. Ezáltal a felület nedvesítőképességéről kapunk információt és nem a felületre dinamikusan rá eső cseppelel szembeni viselkedéséről. A mérési módszer alkalmazása során a cseppelel egy vonalban egy fényképezőgép és egy fényforrás található. A mérőrendszer fókuszpontjában továbbá egy tárgyasztal helyezkedik el, amire a vizsgálandó mintát kell helyezni. A fényképezőgép makroobjektívjének középtengelye egybeesik a vizsgálandó felülettel, ezáltal a felület képen látott síkja, valamint az objektív szimmetria tengelye egybeesik. A vizsgálandó felület felett egy manuálisan állítható magasságú pipetta található, melynek tengelye merőleges a vizsgálandó felületre. Továbbá egy fényforrás alkalmazására is szükség van, ami a tárgyasztalon túl helyezkedik el és az objektív irányába világít, ezáltal a profilban vizsgált folyadékcsepp kontúrvonala meghatározható (11. ábra). Mikropipetta segítségével 5 μ l-es cseppeket alkalmaztam a mérésekhez, így a legpontosabb a folyadékmennyiség felvétele és kiadagolása. A cseppentési vizsgálatokhoz két féle folyadékot használtam a Fowkes módszer meghatározása alapján. Az egyik fajta folyadék desztillált víz, a másik $\geq 99\%$ tisztaságú etilén-glikol ($C_2H_6O_2$). A desztillált víz poláris és diszperzív komponense 20°C-on: 51 mN/m és 21,8 mN/m, az etilén-glikol poláris és diszperzív komponense 20°C-on: 19 mN/m és 29 mN/m.

A felvételeket egy Nikon D5300-as tükörreflexes digitális fényképezőgép segítségével készítettem. Továbbá a fényképezőgépre egy Tokina AT-X AF 100mm f/2.8 típusú makró

objektív volt csatlakoztatva. A makró objektív fókusz távolságának értékét a legkisebbre állítottam, ilyenkor 1:1-es a leképezés, amely biztosítja a legnagyobb nagyítást. Az ISO érzékenységtartományt a legkisebbre, 100-as értékre állítottam. Az adatok, amiket változtathattam a záridő és a rekesz nyitottsága volt. A rekesz nyitottságával a mélységélességet befolyásoltam, a záridővel pedig a fény mennyiségét szabályoztam a fénykép elkészítése alatt. A legoptimálisabb fényképezési beállítást az 1/100-ad záridő és az f10-es rekesz nyitottsággal értem el.



11. ábra: Alkalmazott nyugócsepp módszeres peremszög mérési rendszer szemléltetése

A nedvesítési peremszög mérő rendszer mérésének menete a következő. (1.) Mérendő lemez felhelyezése a mérőberendezés munkaasztalán, (2.) Pipetta hegy, pipettára való erősítése, (3.) Adott mennyiségű desztillált víz felszívása a pipetta hegybe, (4.) Pipetta, tartóba helyezése, (5.) A desztilláltvíz kinyomása a hegy végére, (6.) A munkaasztal hozzáemelése a csepphez, (7.) A munkaasztal beállítása a fényképezéshez megfelelő helyzetbe, (8.) A csepp lefényképezése 3 másodpercet követően, (9.) Pipetta hegyének kicserélése, (10.) Adott mennyiségű etilén-glikol felszívása a pipetta hegybe, (11.) Pipetta elhelyezése a tartóba, (12.) Az etilén-glikol kinyomása a hegy végére, (13.) A munkaasztal hozzáemelése a csepphez, (14.) A munkaasztal beállítása a fényképezéshez megfelelő helyzetbe, (15.) A csepp lefényképezése 3 másodpercet követően, (16.) A fényképek áthelyezése a számítógépre, (17.) A fénykép kiértékelése egyedi peremszögmérő szoftver segítségével.

Az elkészített fényképeket egy számítógépes peremszögmérő programba töltöttem be. A program segítségével megjelöltem a vizsgált felület és a folyadékcsepp jobb és baloldali kontaktpontjait. Ezáltal meghatároztam a fókuszban lévő síkot, ahol a folyadékcsepp profilból elemezhető, mérhető. Ezt követően a kontaktpontokból érintőket húztam a folyadékcsepp burkológörbéjére, majd a program automatikus szögméréssel meghatározta a baloldali és jobboldali nedvesítési peremszögek értékeit. A 11. ábra a kutatás során alkalmazott nedvesítési peremszögmérő környezet szemlélteti.

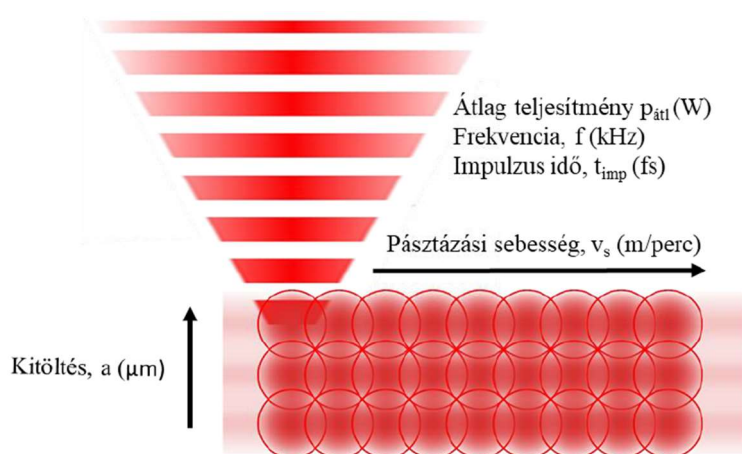
A peremszögek megmérését követően az egy adott technológiai adatokkal kezelt lemezek felületének peremszög értékeit átlagoltam. Ezáltal megkaptam egy-egy desztilláltvíz és etilénlikol peremszög értékét az összes kísérleti paraméterhez. A kapott értékekkel kiszámoltam a határfelületi energiát. A Fowkes tételeknek megfelelően egy Excel program segítségével számoltam tovább. A Excel programba be kell írni a kapott peremszög értékeket és a program a Fowkes egyenlettel megoldja a többsimeretlenes egyenletrendszert. Ennek köszönhetően megkapható a különböző felületkezelések hatására megváltoztatott határfelületi energia, diszperzív és poláris komponensekre lebontva.

4.4.3. ZEISS Axio Imager. M2m fémmikroszkóp

A felületkezelések topográfiaváltoztató képességét egy ZEISS Axio Imager. M2m fémmikroszkóp segítségével vizsgáltam meg. A vizsgálat során az éles képrészletek egymásra rétegzésével készítettem felvételeket az egyenetlen felületű mintákról. A mikroszkóp továbbá alkalmas pásztázással történő felvétel készítésére, fázismennyiség meghatározására, porozitás vizsgálat és tisztaságvizsgálat kiértékelésére. A motorizált tárgyasztal három tengely mentén képes elmozdulni. A legnagyobb nagyításra, amelyre a mikroszkóp képes ötszázszoros.

4.4.4. Ultrarövid impulzusos femtoszekundumos lézerrendszer

A lézersugaras felületkezelési eljárások során a femtoszekundumos impulzus üzemben működő Coherent Monaco 1035 nm hullámhosszú lézert alkalmaztam. A gép maximális teljesítmény kibocsátása 60 W, illetve hullámhossza 1035 nm. A kibocsátható impulzus 277 femtoszekundum és 10,000 femtoszekundum között változtatható (12. ábra). Az alkalmazható legkisebb frekvencia 188 kHz és a legmagasabb frekvencia 50 MHz. A lézersugarakat, tükrök segítségével juttatja a pásztázó fejbe, mely a mozgatható tükrök segítségével irányítja a lézersugarat a megfelelő pontba. A sugármozgást egy Scanlab F-theta lencsés pásztázó segítségével kivitelezhető.



12. ábra: Femtoszekundumos lézerrendszer munkakörnyezete [1]

A Scanlab programozási környezetben állítottam be a kezelések során alkalmazott pásztázási és felületkezelési paramétereket. A felületkezelés során alkalmazott teljesítmény 30 W értékű volt. Mind a vonalszélesség, mind a vonalvastagság is 60 μm volt.

4.4.5. INSTRON 5900R 4482 univerzális mechanikai anyagvizsgáló gép

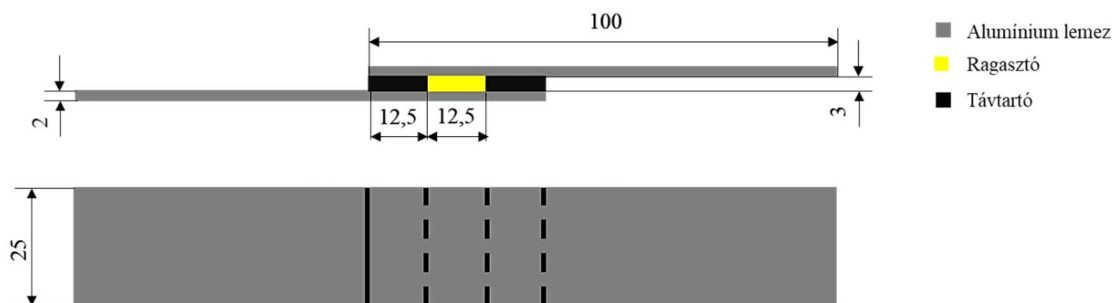
A kutatás során a ragasztott kötéseken elvégzett húzóvizsgálatokat és nyíróvizsgálatokat az INSTRON 5900R 4482 univerzális mechanikai anyagvizsgáló gép segítségével készítettem el. A mechanikai anyagvizsgáló gép továbbá alkalmas nyomóvizsgálatok, hajlítóvizsgálatok és ciklusvizsgálatok kivitelezésére. A maximális erő kifejtése 100 kN. A maximális keresztfej sebessége 500 mm/min. Az anyagvizsgáló gép számítógép vezérelt. A vizsgálatok során a vizsgálógépen kézi szorítású befogó pofákat alkalmaztam a próbadarabok szabályos, roncsolásmentes befogása érdekében. A nyíróvizsgálatok során a külpontos húzás elkerülése érdekében közdarabokat alkalmaztam a megszorítások során, ezáltal a húzás tengelye a ragasztott területtel párhuzamos és egybeeső volt. Minden teszt sorozat során legalább 3 próbatestet nyírtam el a pontosabb eredmények érdekében. Mind a húzóvizsgálatok, mind a nyíróvizsgálatok során egyaránt 20 mm/perc sebességet alkalmaztam.

4.4.6. ISO 4587 nyíróvizsgálatra, próbatestekre vonatkozó szabvány

A kutatás során elkészített egyszeresen átlapolt nyírási vizsgálatnak alávetett mintáimat az ISO 4587-szabványnak megfelelően készítettem el. A szabvány előírja a nyíróvizsgálatnak kitett próbatestek pontos méretét, illetve az átlapolással készített ragasztott terület nagyságát. Eszerint az átlapolt ragasztott területnek $25 \pm 0,25$ mm szélesnek és $12,5 \pm 0,25$ mm hosszúságúnak kell lennie. Az így elkészített ragasztott terület nagysága $\approx 312,5 \text{ mm}^2$. A 3 mm ragasztási hézag és a ragasztási terület megtartása érdekében távtartó segédragaszokat alkalmaztam, melyeket a vizsgálatok elvégzése előtt átvágtam, ezzel biztosítva, hogy csak a ragasztott kötés nyírószilárdsága szerepeljen a mérési eredményeimben.

A mintadarabokat, ahogy a 14. ábra is mutatja, a nyírási vizsgálat során szorítófejek közé fogtam, majd a bemutatott vizsgálatigép segítségével elvégeztem a szükséges szabványos nyírószilárdsági vizsgálatokat. A nyíróvizsgálat során alkalmazott nyírási sebesség 20 mm/perc volt.

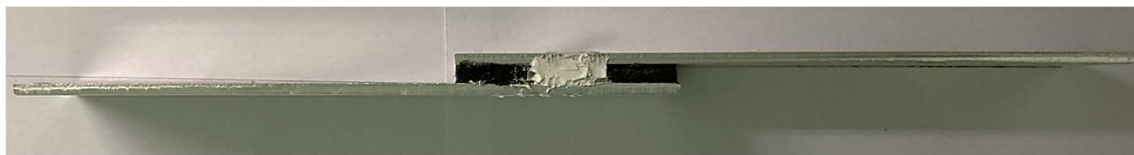
A szabvány továbbá előírja a próbadarabok tönkremenetelének idejét, melynek 65 ± 20 másodpercnek kell lennie. A 13. ábra a ragasztott mintadarabok méreteit, felépítését szemlélteti, illetve a 15. ábra az egyik általam elkészített próbatestet mutatja be [48].



13. ábra: Kutatásom során elkészített nyírószilárdsági vizsgálatok próbatestjeinek felépítése, mérete



14. ábra: Nyírószilárdsági vizsgálatot szemléltető ábra

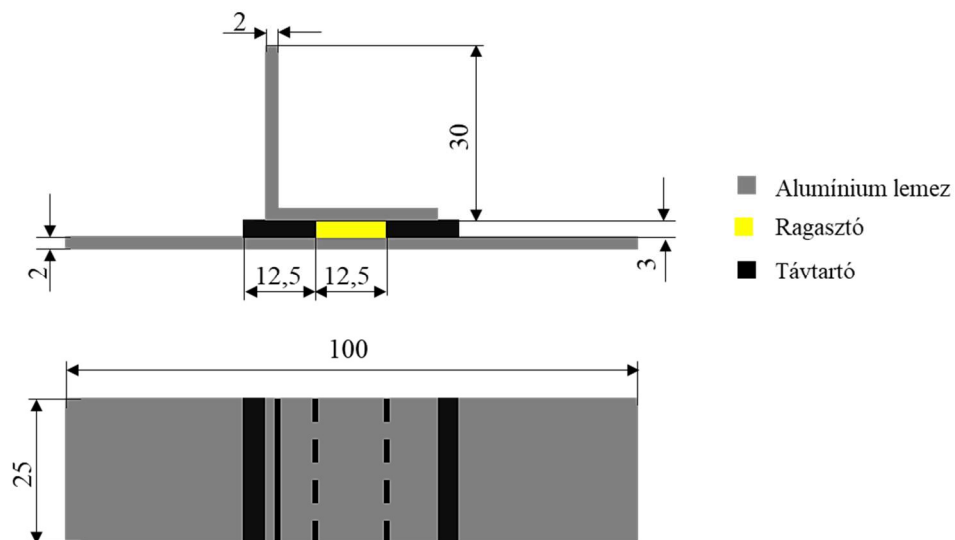


15. ábra: Kutatásom során különböző technológiával elkészített szabványos nyírószilárdsági mérésnek alávetett munkadarab szemléltetése

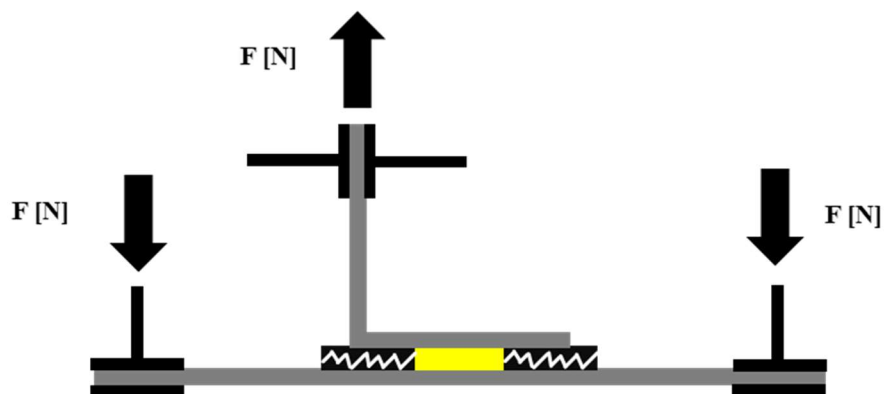
4.4.7. Húzóvizsgálatra, próbatestekre vonatkozó egyedi kialakítás

A fémek ragasztott kötésének húzószilárdsági vizsgálatára vonatkozó szabvány hiányában, kénytelen voltam a nyírószilárdságra vonatkozó ISO 4587-es számú szabvány fontosabb értékeinek, követelményeinek megtartásával, új egyedi húzószilárdság vizsgálati paramétereket, felépítést kidolgozni. A nyírószilárdsági vizsgálatra vonatkozó szabványból a húzóvizsgálataim során is alkalmaztam az átlapolt kötés ragasztott területének méreteit. Ebből kifolyólag, ahogy a 16. ábra is szemlélteti a ragasztott terület $12,5 \pm 0,25$ mm hosszúságú, illetve $25 \pm 0,25$ mm szélességű volt a húzószilárdságnak alávetett próbatestek esetében. A ragasztási terület megtartása mellett, a vizsgálat során a szabványnak megfelelő tönkremeneteli időt is alkalmaztam. Ebből kifolyólag a húzószilárdsági vizsgálatok egy mintadarabra eső ideje megfelelt a 65 ± 20 másodperces tönkremeneteli időnek.

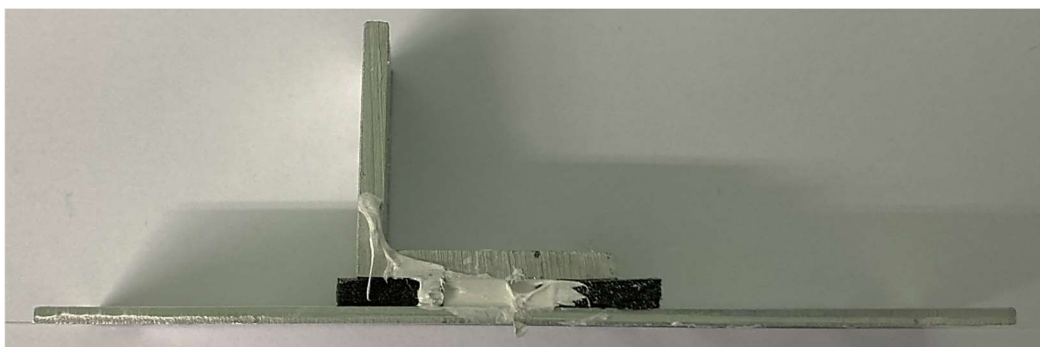
A vizsgálatok elvégzése során, ahogy a 17. ábra is szemlélteti, a munkadarabot leszorítók segítségével rögzítettem a vizsgálógép asztalához, majd a munkadarab L- profilját szorítófejbe fogva rögzítettem a munkadarabot a vizsgálati környezetbe, majd a befogott L- profilnál fogva elvégeztem a húzószilárdsági vizsgálatokat. Továbbá a 3 mm ragasztási hézag és a ragasztási terület megtartása érdekében távtartó segédragaszokat alkalmaztam, melyeket a vizsgálatok elvégzése előtt átvágtam, ezzel biztosítva, hogy csak a ragasztott kötés húzószilárdsága szerepeljen a mérési eredményeimben (17. ábra). A húzószilárdsági vizsgálatok során 20 mm/perc húzási sebességet alkalmaztam a vizsgálógépen. A 18. ábra az egyik, kutatásom során elkészített egyedi húzóvizsgálati próbatestet szemlélteti.



16. ábra: Kutatásom során elkészített húzószilárdsági vizsgálatok szabványt követő, de egyedi felépítésű próbatesteinek szemléltetése.



17. ábra: Húzószilárdsági vizsgálatot szemléltető ábra



18. ábra: Kutatásom során alkalmazott összeállítás a húzószilárdsági vizsgálatokra szánt darabok esetében.

5. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

Az eredmények kiértékelése fejezetben definiálom, szemléltetem a fentiekben már bemutatott összetételű hengerelt alumínium lemezen végrehajtott felületkezelések hatását, illetve a felületkezelések módosító értékét a különböző vizsgálati eredményekkel bizonyítva. A kutatási projektem során elért eredményeim az alábbi felsorolás szerint kívánom bemutatni.

1. Nyugvócsepp módszeres nedvesítésmérés peremszögeinek értékei.
2. Felületi energia értékeinek megváltozásai.
3. Felületi érdesség mérések eredményei.
4. Mikroszkópi és makroszkópi felvételek szemléltetése, elemzése.
5. Ragasztott kötések húzószilárdságának és nyírószilárdságának vizsgálata.
6. Ragasztott kötések tönkremeneteli módjainak bemutatása.

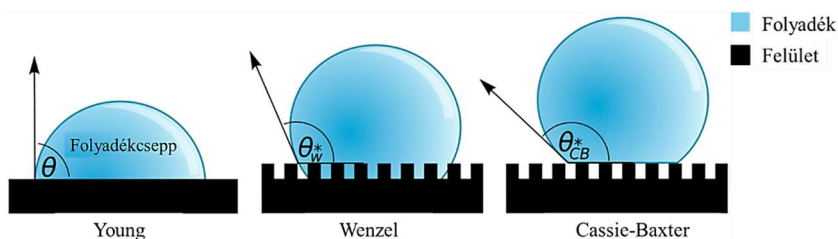
A dolgozatban a kiértékelt mérési adatok, felvételek, illetve diagramok átlagát jelenítenem meg.

A dolgozat terjedelmi korlátai, miatt a szobahőmérsékletű nyugvócsepp módszeres nedvesítésmérés peremszögeinek értékei a *10.2. fejezet Második számú mellékletben* található meg.

5.1. Felületi energia értékei, megváltozásai

Az eredményeim kiértékelése során az előző felsorolás szerint ismertetem az eredményeimet. Továbbá a mintadarabok felületkezeléseinek számától függően, csoportokra bontottam az általam alkalmazott felületkezelési technológiákat.

A 19. ábra szemlélteti, hogy a nyugvócsepp módszeres peremszög mérések során három felületi viselkedési jelenség is felléphet, melyek befolyásolhatják a mért eredmények értékét. A Young felületi jelenség során a felületre cseppentett folyadék a felületen felveszi az ott elhelyezkedő energiakomponenseknek megfelelő szögben elhelyezkedő felületi csepp formáját. A következő viselkedési fajtát Wenzel nedvesítési jelenségnek nevezzük. Ezen esetben a mérés során a folyadékcsepp a kezelt felület érdességi mélyedéseibe is beleül és ennek függvényében veszi fel a felülethez megfelelő peremszögű csepp formáját. A 19. ábra képen látható Cassie-Baxter nedvesítési jelenség során a cseppentett folyadék a kezelt felület érdességi csúcsaira ül ki és ennek megfelelő értékű peremszöget eredményez.



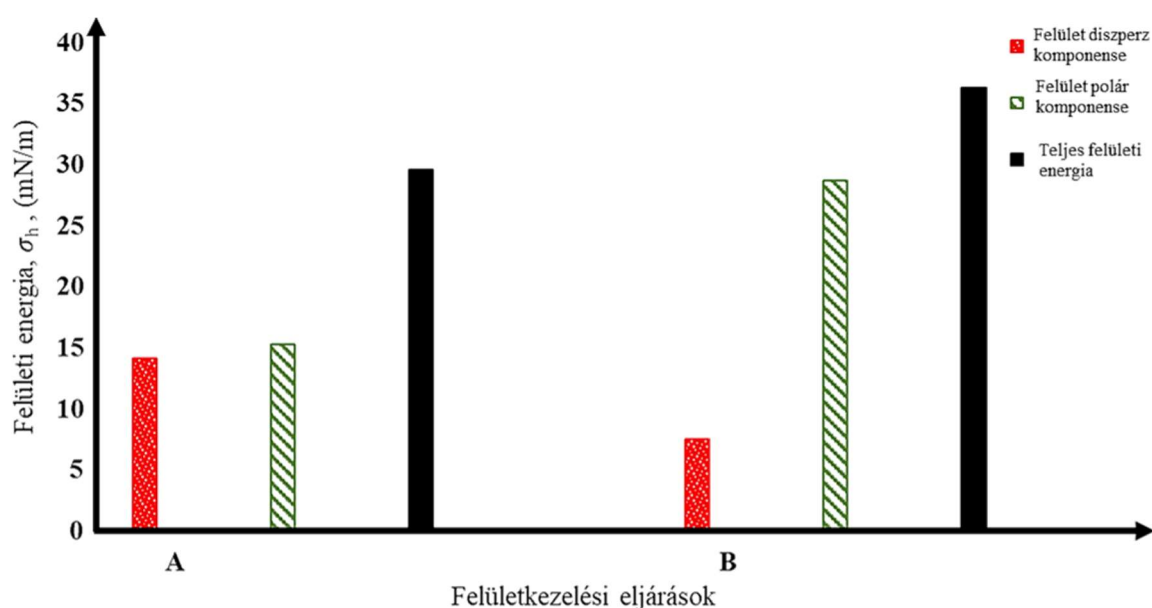
19. ábra: Nyugvócsepp módszeres peremszög vizsgálatok során fellépő jelenségek szemléltetése [49]

Kutatásom során a kedvező peremszög értékeket a Young nedvesítési jelenség biztosítja. A nedvesítési vizsgálatok során többek között a kezelt felület függvényében fellépő nedvesítési jelenségeket is bemutatom.

A peremszögmérési vizsgálataimból kapott értékek alapján meghatároztam a kezeletlen, illetve egy-, kettő felületmódosító technológián átesett mintadarabok felületi energiáját. Továbbá a felületkezelést követően az óránkénti cseppentések peremszög értékeiből meghatároztam a felület energiájának megváltozását az idő függvényében. A felületi energia időfüggését a kezelést követő 4 órában, óránként mértem. Az értékeket tartalmazó táblázatokból elkészítettem a kezelt felületek energiáját szemléltető diagramokat. A diagramokat a felületkezelési eljárások, illetve a felületi energiák függvényében határoztam meg. Ahogy a jelmagyarázatban is látható a piros (pettyes) oszlopok ábrázolják az adott felületek energiájának diszperz komponensét, míg a zöld (vonalas) oszlopok az adott felületek energiájának polár komponensét. A fekete oszlopok a kettő komponens összegét, vagyis a teljes felületi energiát ábrázolják.

5.1.1. Kezeletlen felületű mintadarabok felületi energiájának eredményei

Kezdetben az „A” és „B” jelölésű mintadarabok, mint kezeletlen felületeken szemléltetem, magyarázom meg a felületi energia értékeit (20.ábra).



20. ábra: Kezeletlen felületű mintadarabok felületi energiájának szemléltetése

A 4. táblázatban jól látható a kezeletlen, tisztításon át nem esett felület energiájának diszperz komponense 14,2 mN/m értékkel, közel egyező az ugyanazon felület energiájának polár komponensével 15,3 mN/m. A felület energiájának polár komponensei nagyobb számban megtalálhatók a felületen. Az alkohollal tisztított felület energiájának diszperz komponense a kezeletlen felületéhez képest a felére csökkent, illetve az energia polár komponense nagymértékben nőtt. Továbbá a felület alkoholos tisztítása növelte a teljes felületi energia

nagyságát, ám a polár komponensek számát nagyban növelte. A két felületen mért eredmények érdekessége, hogy egy egyszerű alkoholos felülettisztítás is mekkora arányban meg tudja változtatni az adott felület energiájának összetevőinek értékét. Mivel az alkoholos tisztítás nagymértékben megnövelte a felület energiájának polár komponensének értékeit, ezzel a ragasztott kötés ragasztási szilárdságának is kedvezve, ezért ebben a fejezetben is a „B” jelű alkohollal tisztított felületet tekintem a kontroll felületnek a mért felületi energiák kiértékelése során.

4. táblázat: Kezeletlen felületű mintadarabok felületi energiájának értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Felület diszperz komponensének értéke (mN/m)	Felület polár komponensének értéke (mN/m)	Teljes felületi energia (mN/m)
Kezeletlen felület	A	14,2	15,3	29,6
Alkohollal tisztított felület	B	7,5	28,7	36,3

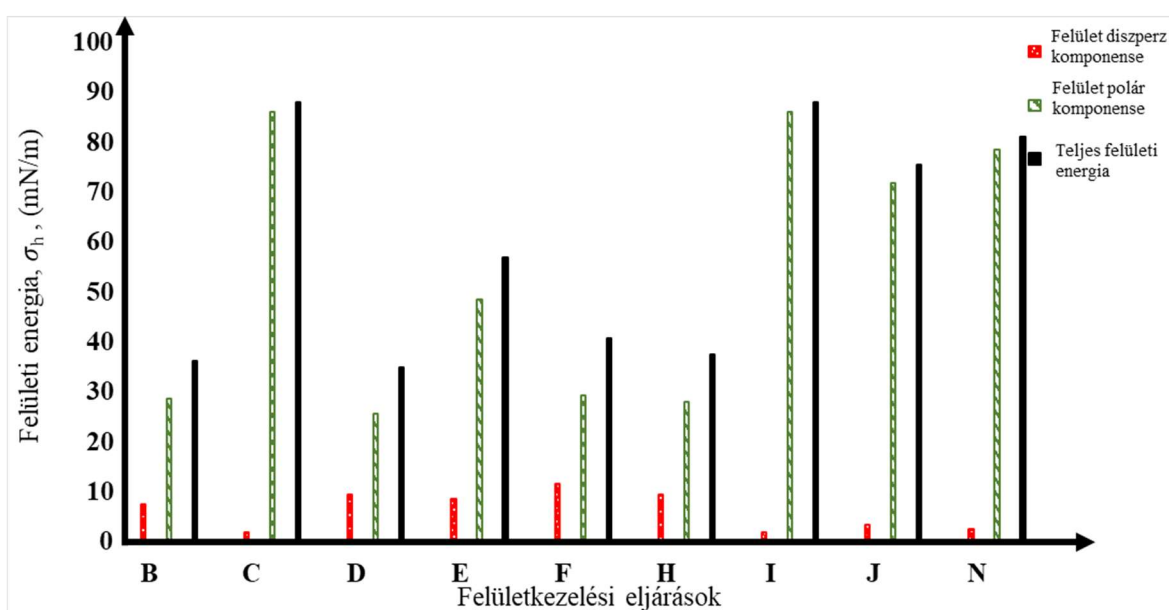
5.1.2. Egyszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának eredményei

Az egyszeres felületmódosításon átesett mintadarabok esetében is megvizsgáltam a kezelt felületek energiájának nagyságát, komponenseinek értékét. Az 5. táblázatban összefoglalt eredményekből jól látszik, hogy a „B” jelölésű kontroll felület energiájával, a „D” jelölésű fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított és az „F” jelölésű csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított, valamint a „H” jelű Sika® Primer-207-tel kezelt felületek energiájának értéke szinte megegyező. A fátyolos csiszolással, majd alkoholos tisztítással létrehozott felületmódosulat teljes felületi energiája kis mértékben, de csökkent a kontroll felülethez képest, valamint nőtt a diszperz-, illetve csökkent a polár komponenseinek értéke. A csiszolópapírral, valamint a primerrel kezelt felületek esetében a teljes felületi energia értékek kis mértékben növekedtek a kontroll felülethez képest. Ugyanakkor fontosnak tartom megemlíteni, hogy a tárgyalt két felület diszperz komponenseinek értékei nagyobb arányban növekedtek, mint a polár komponensek értéke. Ezáltal megállapítható, hogy az eddig elemzett három különböző felület kedvezőtlenebb eredményeket nyújtott a felületek ragasztásához szükséges energiához, illetve a kontroll felület energiájához képest. Valamint fontos megemlítenem, hogy a csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított felület esetében a felületi energia és összetevőinek eredménye a Cassie-Baxter jelenség, lehetséges fellépése, miatt nem tekinthetők biztos eredménynek.

A homokszórt, alkohollal tisztított (E) felület esetében a teljes felületi energia nagymértékű növekedését, a diszperz összetevő kismértékű módosulását és a polár komponens nagymértékű növekedését tapasztaltam a kontroll felület értékeihez képest, mely különbség a 21. ábra diagramján is jól látható. A megnövekedett teljes felületi energia és azon belül is a polár összetevő értékének növekedése kedvezőbb felületi paramétereket biztosít a ragasztás számára. Viszont rendkívül fontos megemlítenem, hogy a bemutatott felületi energia értékek a

lehetséges Cassie-Baxter nedvesítési jelenség jelenléte, miatt bizonytalanságot nyújt az adott technológia eredményei elemzésekor.

Végül szeretném kiértékelni a lézersugárral kezelt (C), a forró ioncserélt vízben kezelt (I), DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt (J) és a nátrium-hidroxid oldattal maratott (N) felületek energiájának változását. A 21. ábra diagramján és az 5. táblázatban is egyértelműen megfigyelhető, hogy a tárgyalt négy felületkezelési technológiával előállított felületek energiája és azon belül is a polár összetevő nagysága rendkívül nagy értékben megnövekedett. A nagyértékű növekedés lehetséges oka, az alkalmazott technológiákban keresendő. Az alkalmazott felületkezelési technológiák valószínűsíthetően olyan nanoszekezeti mikrostruktúrát hoztak létre a felületeken, esetleg felületekben, amely rendkívül nagyértékű felületi energiát, illetve kisértékű diszperz, nagyértékű polár komponensek jelenlétét eredményezi a felületen. A megnövekedett felületi energia kiváló nedvesítési paramétereket biztosított, amely a ragasztás számára is megfelelő felületi körülményeket eredményezhet. Az egyszerűen felületmódosított mintadarabok felületi energiájának mérési eredményeit megfigyelve (5. táblázat) a lézersugárral kezelt (C), illetve forró ioncserélt vízben kezelt (I) felületek energiája nyújtotta a legjobb, legbiztosabb értékeket a felületi energiákra nézve.



21. ábra: Egyszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának szemléltetése

5. táblázat: Egyszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Felület diszperz komponensének értéke (mN/m)	Felület polár komponensének értéke (mN/m)	Teljes felületi energia (mN/m)
Alkohollal tisztított felület	B	7,5	28,7	36,3
Lézersugárral kezelt felület	C	2	86	88
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított felület	D	9,4	25,6	35
Homokszórt Alkohollal tisztított felület	E	8,5	48,5	56,9
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított felület	F	11,5	29,2	40,7
Sika® Primer-207 kezelt felület	H	9,5	28	37,5
Forró ioncserélt vízben kezelt felület	I	2	86	88
DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület	J	3,5	71,9	75,4
Nátrium-hidroxiddal maratott alkohollal tisztított felület	N	2,6	78,5	81

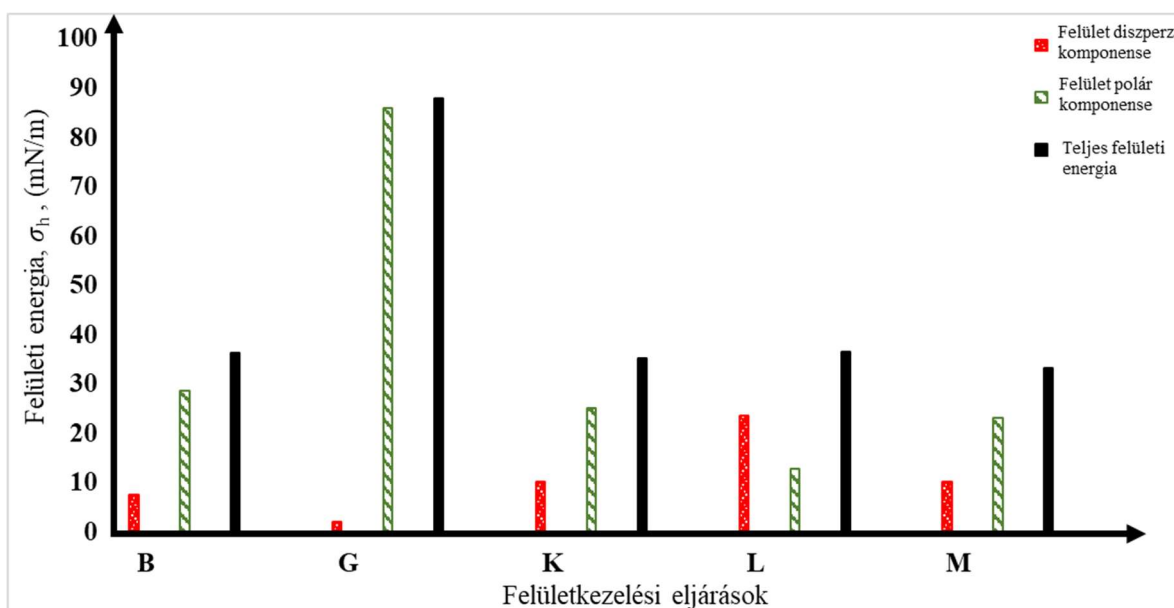
5.1.3. Kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának eredményei

A 22. ábra diagramján és a 6. táblázatban összefoglalt eredmények a kétszeres felületmódosításon átesett mintadarabok felületi energiájának méréseiből származó eredményeket szemléltetik, illetve számszerűsítik.

Az eredményeket kettő csoportban értékelem ki a kapott eredmények egymáshoz viszonyított nagyságától függően. Először a „K”, „L” és „M” jelölésű felületkezeléssel elkészített mintadarabok felületi energiájának értékét definiálom. A homokszórt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt, a csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított majd Sika® Primer-207-tel kezelt, valamint a fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított, Sika® Primer-207-tel kezelt felületek esetében a teljes felületi energia értékei jó közelítéssel megegyeznek az egymáson, illetve a kontroll lemez felületén elvégzett mérések felületi energiájának értékeivel. Tehát a felületkezelések hatására a felületi energia értékében jelentős változást nem értem el. Továbbá a kontroll lemez felületi energiájának polár összetevőjének értékéhez képest csökkentek a felületkezelések hatására a polár komponensek értékei, azonban a diszperz összetevők értéke meghaladta a kontroll lemez felületén mért diszperz komponensek értékét. Ennek oka a felületmódosítással létrehozott felületstruktúrában keresendő. A felület nedvesíthetőségét, illetve a ragasztási paramétereket figyelembe véve az elért eredmények kedvezőtlen hatásúak.

A „G” jelölésű lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület energiájának esetében kimagasló, áttörő sikerű eredményt értem el. Ezen esetben a felület energiájának polár

összetevőjének az értéke a legnagyobb, ragasztás számára legkedvezőbb eredményt nyújtotta. A diszperz összetevő értéke, pedig a legalacsonyabb értéket eredményezte. Ezesetben a ragasztás számára rendkívül kedvező, a felületi energiát tekintve legkiemelkedőbb eredményt értem el.



22. ábra: Kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának szemléltetése

6. táblázat: Kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Felület diszperz komponensének értéke (mN/m)	Felület polár komponensének értéke (mN/m)	Teljes felületi energia (mN/m)
Alkohollal tisztított felület	B	7,5	28,7	36,3
Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület	G	2	86	88
Homokszórt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	K	10,1	23,6	33,7
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	L	25,2	12,9	38,1
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	M	35,3	36,5	71,8

5.1.4. Különböző technológiákkal felületkezelt mintadarabok felületi energiájának időfüggése

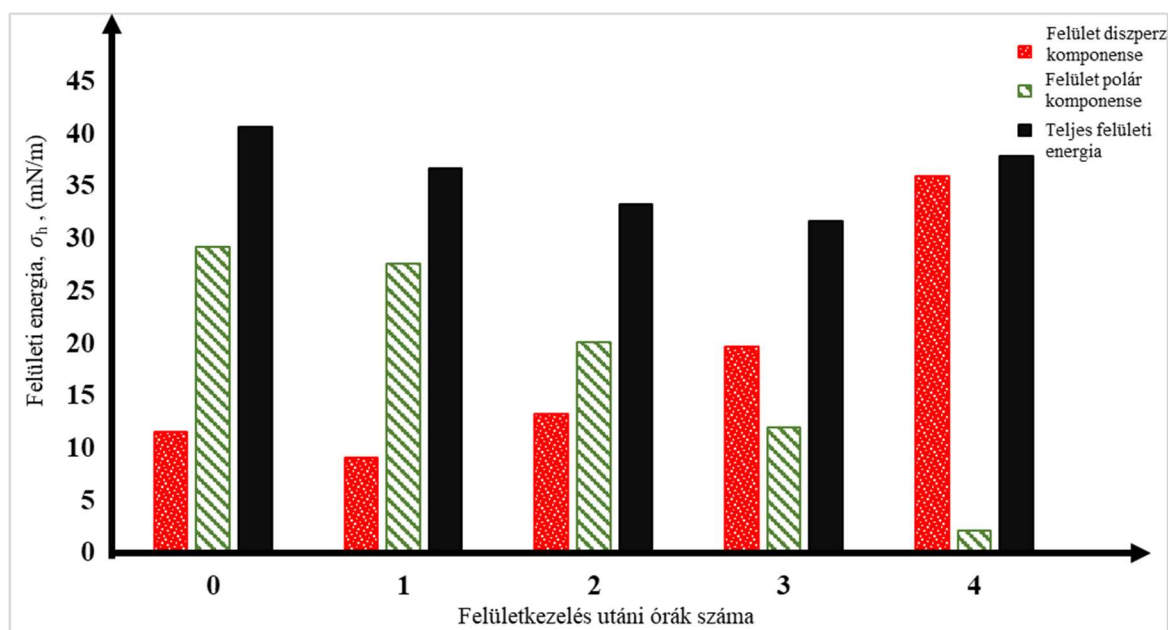
A nyugvócsepp módszeres peremszög vizsgálatok során a mintadarabok felületkezelését követően, óránként vizsgáltam 4 órás időintervallumban az adott felület peremszög értékeinek változását. Ezt követően a mért peremszög értékeket átváltottam felületi energia komponenseire, ezáltal megismertem a teljes felület energiájának értékét. Jelen fejezetben a mért felületi energiák időszerinti megváltoztatásáról szerzett tapasztalataimat, eredményeimet

ismertetem. A kezelt felületek energiájának megváltozása az idő függvényében három részre bontható.

Az első csoportot az állandó, idő múlásával sem csökkenő, vagy növekvő felületi energia értékkel rendelkező mintadarabok alakítják. A lézersugárral-, a forró ioncserélt vízben, valamint a lézersugárral és forró ioncserélt vízben kezelt mintadarabok peremszög értékei, ezzel a felületi energiájuk sem változott az idő előrehaladtával. Ezesetben a felületek energiájának diszperz komponense 2 mN/m , polár komponense 86 mN/m és teljes felületi energiája 88 mN/m volt. Az eredményekből arra a következtetésre jutottam, hogy jelen felületek nanoszerkezetében a felületkezeléseket követően nem történik átalakulás, vagy változás, újra oxidálódás.

A következő csoportot a kis mértékben romló felületi energiájú mintadarabok jelentik. Az ebbe a csoportba tartozó mintadarabok felületén az idő múlásával kisebb változások, újra oxidálódás jelenségének köszönhetően kedvezőtlen irányba változnak a felületi energia értékei. Ugyan a változás kismértékű, ellenben befolyásolhatja a ragasztás minőségét. A kismértékű változás a diszperz komponensek esetében maximálisan $6,8 \text{ mN/m}$, míg a polár komponens esetében hozzávetőlegesen $12,7 \text{ mN/m}$ értékű. Fontos megemlíteni, hogy a felületi energia csökkenése a diszperz komponensek számának növekedésével és a polár komponensek nagyobb mértékű csökkenésével jár. Jelen csoportba tartozik az előző bekezdésben említett, valamint a csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított, továbbá a nátrium-hidroxid oldatban maratott felületek kivételével az összes felületkezelt mintadarab.

Ahogy a 7. táblázatban is látható a harmadik és egyben utolsó csoportosításban a már előbb említett nátrium-hidroxid oldatban maratott, valamint a csiszolópapírral csiszolt és alkohollal tisztított felületek tartoznak. Ezen mintadarabok esetében nagymértékű változás történt a nanoszerkezet struktúrájában a felületkezelést követő négy órában. Kisebb mértékű, de jelentős változás történt a nátrium hidroxid-oldatban kezelt felület esetében, melynél a diszperz komponens $11,5 \text{ mN/m}$ értékről $35,9 \text{ mN/m}$ -re növekedett csupán négy óra elteltével. A felületi energia polár komponense pedig $29,5 \text{ mN/m}$ értékről, $2,1 \text{ mN/m}$ nagyságúra csökkent, a teljes felületi energiában pedig nagy változás nem történt, csupán $2,8 \text{ mN/m}$ -t esett vissza. A csiszolópapírral csiszolt és alkohollal tisztított felület esetében a 23. ábra diagramján és a 7. táblázatban jól látható módon kimagasló változások történtek a felületi energia összetételének arányában. A diszperz komponensek aránya nagymértékben megnövekedett, míg a polár komponensek száma szinte nullára csökkent. Mind a nátrium-hidroxiddal, mind a csiszolópapírral történő kezelés során eltávolítjuk a felületen található oxid réteget, mely az idő múlásával visszaépül a kezelt felületre. A bekezdésben bemutatott két esetben az előbb leírt jelenség áll, tehát az alumínium oxid felületre való visszaépülésének folyamata során állandó romlás tapasztalható a felületi energia ragasztásra kedvező hatású értékeiben (polár komponensek).



23. ábra: Csiszolópapírral csiszolt és alkohollal tisztított felület energia értékének időfüggésének szemléltetése

7. táblázat: Csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított felület energia értékeinek időfüggése

	Felület DISZPERZ (mN/m):	Felület POLÁR (mN/m):	Teljes felületi energia (mN/m):
Felületkezelés után 0 óra elteltével	11,5	29,2	40,7
Felületkezelés után 1 óra elteltével	9,1	27,6	36,7
Felületkezelés után 2 óra elteltével	13,3	20,1	33,3
Felületkezelés után 3 óra elteltével	19,7	12	31,7
Felületkezelés után 4 óra elteltével	35,9	2,1	37,9

5.2. Felületi érdesség mérések eredményei

A fejezetben a felületkezelések számától függően ismertetem a különböző felületkezelési technológiákkal előállított felületek érdességének méréséből származó eredményeimet. A felületek érdességi méréseit a Rodenstock RM400-P típusú optikai felületi érdességmérő berendezéssel végeztem. A méréseket háromszor ismételtam, majd a kapott eredményeket átlagoltam a pontosabb, kisebb hibafaktornak kitett eredmények biztosítása érdekében.

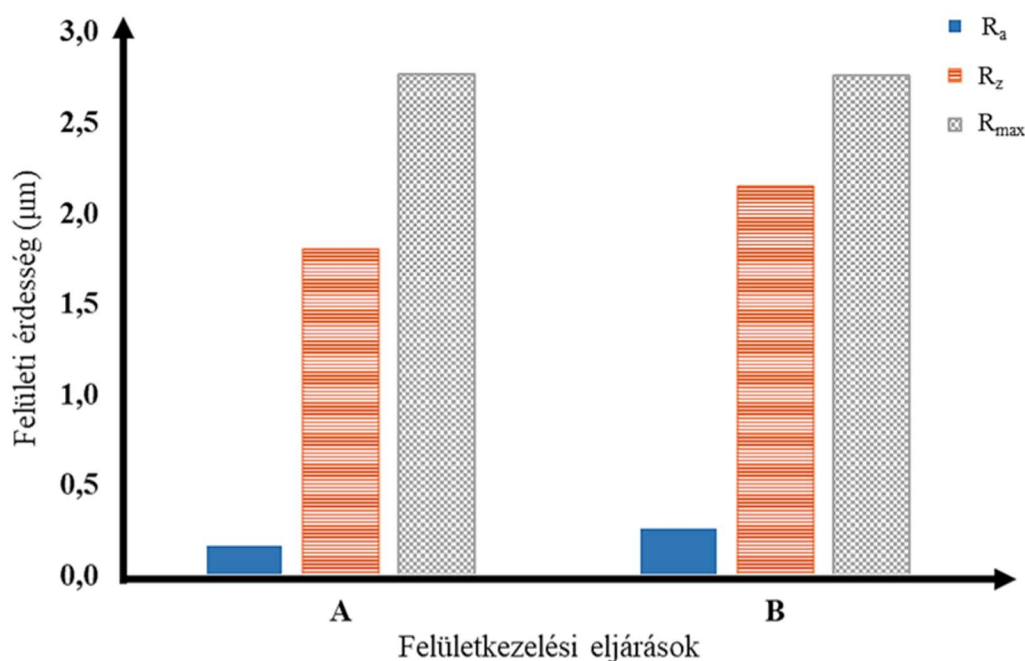
A mért eredményeket a felületkezelések, illetve a felületi érdességek eredményeinek függvényében diagramokon és táblázatokban összegeztem. Ugyanakkor fontosnak találom tisztázni a felületi érdességek eredményeinek feltüntetésére alkalmazott jelölések jelentését. Az R_a jelölés (diagramjaimban teli kék jelölés) a felület átlagos érdességét adja meg. Az R_z

jelölés (diagramjaimban vörös csíkos jelölés) a mért felület egyenetlenség magasságát adja meg. Az $R_{\max}$ jelölés (diagramjaimban szürke pepita jelölés) a maximális egyenetlenség-magasság nagyságát határozza meg.

A ragasztani kívánt felületek érdességének nagysága hatással van a ragasztott kötés igénybevételének teherbírására. Azonban fontos megjegyezni, hogy a túl alacsony, illetve a túl magas felületi érdességi mérőszámmal rendelkező felületek szinte minden esetben az alacsonyabb teherbírású kötés létrejöttéhez vezetnek. Minden egyes ragasztóanyag fajtának, különböző felületi érdesség a kedvező, melyek a mai világban a ragasztóanyagok kiemelkedő használatának köszönhetően fontos kutatási projekteket indított el.

5.2.1. Kezeletlen felületű mintadarabok felületi érdesség mérésének eredményei

A kezeletlen felületű mintadarabok esetében ugyancsak a kezeletlen (A), illetve alkohollal tisztított felületek érdességi mérőszámait vizsgáltam. Mivel a minták nem estek át felületkezelési eljárásokon, ezáltal a felületi érdességek eredményében nem vártam különbséget. A 24. ábra diagramján, illetve a 8. táblázatban is jól látható módon a várt egyezés nem következett be.



24. ábra: Kezeletlen felületű mintadarabok érdesség mérési eredményeinek szemléltetése

8. táblázat: Kezeletlen felületű mintadarabok érdesség mérésének értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	R_a (μm)	R_z (μm)	$R_{\max}$ (μm)
Kezeletlen felület	A	0,2	1,8	2,8
Alkohollal tisztított felület	B	0,3	2,2	2,8

Az átlagos felületi érdességi, illetve az egyenetlenség magassági értékek az alkohollal tisztított felület esetében nagyobb értékeket vesznek fel. Az $R_{\max}$ értékekben elhanyagolható mértékű különbséget figyelhetünk meg. A felületi érdességi mérőszámokban az eltérést a lemez gyártási-, illetve tárolási-, szállítási módja okozza. Mivel esetünkben egy hidegen hengerelt alumínium lemezt vizsgálunk, így annak felületén rendkívül kisméretű karcok, egyenetlenségek találhatók a gyártási folyamatok figyelembevételével, valamint a szállítás és tárolás során kisebb ütődések, egymáson való elcsúszások is okozhatták a felületi érdességbeli eltéréseket. Fontos még egyszer hangsúlyoznom, hogy az eredmények mikronban értendők, így ezen eltérések rendkívül kismértékűek, emberi szemmel alig, egyáltalán észre sem vehetőek. A további eredmények kiértékelése során a „B” jelölésű alkohollal tisztított lemez felületi érdesség értékeit tekintem az alap, kontroll technológiának.

5.2.2. Egyszeresen felületkezelt mintadarabok felületi érdesség mérésének eredményei

Az egyszeresen felületkezelt mintadarabok érdességi értékeinek bemutatásával folytatom az eredményeim elemzését.

A „C” jelölésű lézersugárral kezelt felület esetében, az érdességi értékek csökkentek a kontroll lemezéhez képest. Az lézersugárral kezelt felület átlagos érdessége $0,3\ \mu\text{m}$ -ra, az egyenetlenség magassága $1,4\ \mu\text{m}$ -ra és a maximális egyenetlenség magassága $1,8\ \mu\text{m}$ -ra csökkent. Ennek oka a lézersugaras kezelés, mellyel a mintadarab felületén egy a kontroll lemezénél finomabb, kisebb érdességű módosított felületstruktúrát hoztam létre.

A fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított (D) felületnél a fátyolos felületmódosítás megérdesítette a mintadarabunk felületét ezzel a 9. táblázatban látható értékekre növelte a felületi érdesség mérőszámait. Megfigyelhető, hogy egy kis túlzással a kétszeresére növelte a felület érdességet a kontroll lemezéhez képest.

A homokszórt és alkohollal tisztított (E) felület esetében drasztikus érdességnövekedést eredményezett a homokszórás, mint felületkezelési eljárás. Az R_a értékét $4,6\ \mu\text{m}$ -ra, az R_z értékét $27\ \mu\text{m}$ -ra, illetve az $R_{\max}$ értékét $34,2\ \mu\text{m}$ -ra növelte. A kontroll felülethez képest ez egy rendkívül nagymértékű érdesség növelési eljárásnak számít.

A csiszolópapírral csiszolt és alkohollal tisztított (F) felület esetében a csiszolással létrehozott felület érdességi növekedésének mértéke közel egyező a homokszórt felületével. Az R_a esetében változás nem történt ($4,6\ \mu\text{m}$), míg az R_z , illetve $R_{\max}$ esetében nagyobb mértékű érdességnövekedést figyelhetünk meg a homokszórt felülethez képest. A csiszolt felület esetében az R_z értéke $30\ \mu\text{m}$ -ra és az $R_{\max}$ pedig $38,7\ \mu\text{m}$ -ra növekedett. A 25. ábra diagramjára tekintve egyértelműen kijelenthető, hogy a homokszórás és a csiszolás, mint felületkezelési eljárás eredményezték a legmagasabb felületi érdesség értékeket.

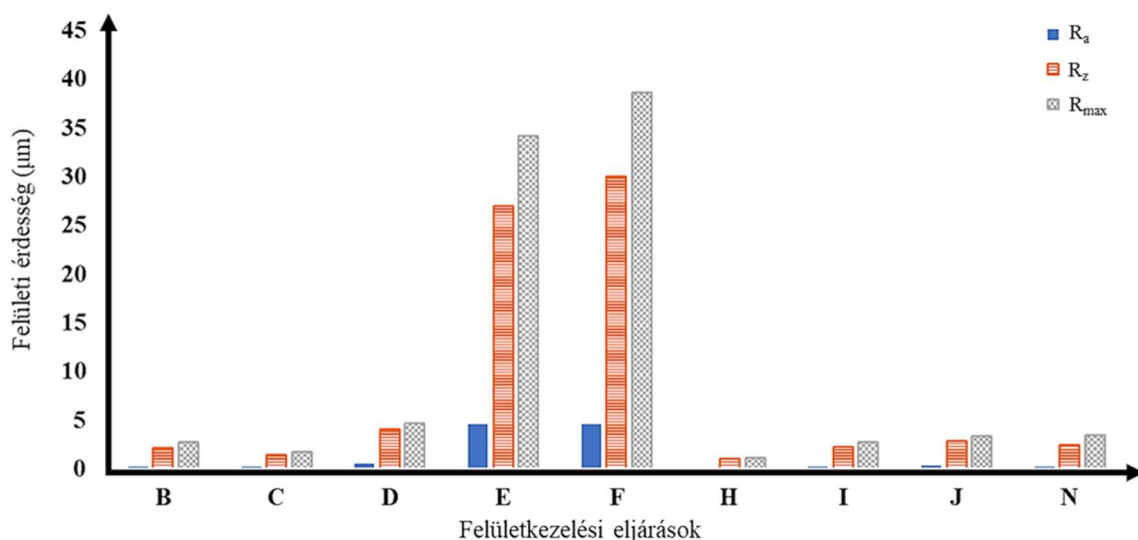
A Sika® Primer-207-tel kezelt felület (H) esetében a kontroll felülethez képesti felületi érdességi értékek csökkenése figyelhető meg. Az átlagos felületi érdesség $0,2\ \mu\text{m}$ -ra, az R_z értéke $1\ \mu\text{m}$ -ra és az $R_{\max}$ pedig $1,1\ \mu\text{m}$ -ra csökkent. A csökkenést az alapozó folyadék

halmazállapotával, valamint felviteli módjával indoklom. Az alapozó folyadék ugyanis folyékony halmazállapotban, ecset segítségével kerül a felületre. A felületen bizonyos idő elteltével szilárd bevonatot képez. A felvitelkor még folyékony halmazállapotában, ki tudja tölteni a felület mikro repedéseit, illetve nagyrészt ki tudja egyenlíteni a felkenés során ecset által hagyott nyomot. Mivel a felületre kerülés és a megszilárdulás között kis időbeli eltérés van (kb. 8 perc), emiatt csak részben tudja eltüntetni az ecset által hagyott lenyomatot, ám így is rendkívül kis értékű érdességet eredményezve.

A forró ioncserélt vízben (I) kezelt felület érdesség értékei szinte teljes mértékben megegyeznek a sima alkohollal tisztított kontroll felületével, hiszen semmilyen anyageltávolító kezelést nem végeztem a felületen, csupán az oxidréteg szerkezete módosult. Feltehetőleg ez az oxidréteg módosulat eredményezte a kismértékű felületi érdesség megváltozását.

A DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt (J) felület esetében a primerben található kémiai oldatok felületen létrejövő reakciója során megérdesítették a mintadarab felületét, ezzel növelve a felületi érdesség eredményeit. A 9. táblázatból is jól kiolvasható, illetve a 25. ábra diagramján is látható, hogy az átlagos felületi érdesség értéke (R_a) 0,4 μm -ra, az egyenetlenség magasság (R_z) 2,9 μm -ra, illetve a maximális egyenetlenség magasság (R_{max}) 3,3 μm -ra növekedett.

A nátrium-hidroxid oldattal történő kémiai felületkezelés során a mintadarab felületét, elhanyagolhatóan kisebb mértékben, de kisebb mértékben érdesítette meg a kémiai maratás, mint a DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel való kezelés során. Az átlagos felületi érdesség értékét (R_a) 0,3 μm -ra, és az egyenetlenség magasság nagyságát (R_z) 2,5 μm -ra növelte, mellyel alacsonyabb értékeket kaptam a „J” felületkezelési technológiához képest. Továbbá a maximális egyenetlenség magasságot (R_{max}) 3,5 μm -ra növelte, így magasabb értéket eredményezve a „J” jelölésű technológiánál. A kontroll lemez érdességi értékeihez képest viszont egyértelműen növekedtek a felületi egyenetlenség értékei.



25. ábra: Egyszeresen felületkezelt mintadarabok érdesség mérési eredményeinek szemléltetése

9. táblázat: Egyszeresen felületkezelt mintadarabok érdesség mérésének értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	R _a (μm)	R _z (μm)	R _{max} (μm)
Alkohollal tisztított felület	B	0,3	2,2	2,8
Lézersugárral kezelt felület	C	0,3	1,4	1,8
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított felület	D	0,5	4	4,7
Homokszórt Alkohollal tisztított felület	E	4,6	27	34,2
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított felület	F	4,6	30	38,7
Sika® Primer-207 kezelt felület	H	0,2	1	1,1
Forró ioncserélt vízben kezelt felület	I	0,2	2,3	2,7
DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület	J	0,4	2,9	3,3
Nátrium-hidroxiddal maratott alkohollal tisztított felület	N	0,3	2,5	3,4

5.2.3. Kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi érdesség mérésének eredményei

A kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi érdességi eredményeinek kiértékelése nehezebb feladat, ugyanis ennél a fajta csoportnál már két különböző felületkezelési eljárás kombinációja adja az adott felület érdességi értékét. Ebben a fejezetben ezeket a kombinációkat, felületi érdességek alakulását értékelem ki. A 26. ábra és a 10. táblázat segítségével szemléltetem, számszerűsítem a mért adatokat.

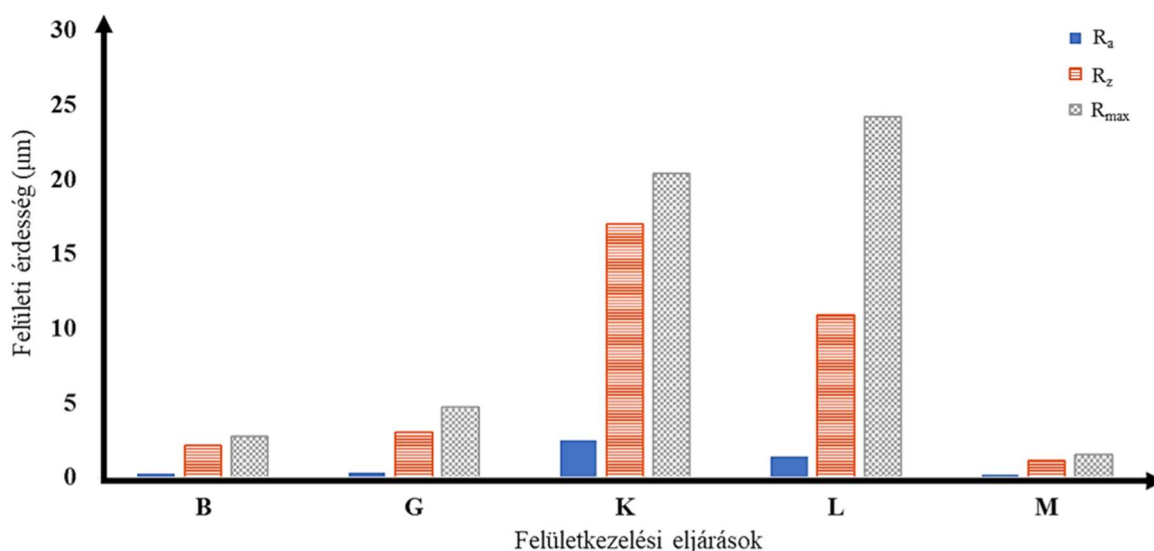
A „G” jelölésű lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület esetében, az egyszeresen lézersugárral felületkezelttől eltérően, növekedtek az adott felület érdességi értékei. Az egyszeresen lézersugárral kezelt felület (C) esetében az R_a értéke 0,3 μm, az R_z értéke 1,4 μm, míg az R_{max} értéke 1,8 μm volt. Ehhez képest a lézersugaras felületkezelést követően forró ioncserélt vízben történő kezelés után az R_a értéke 0,3 μm-ra, az R_z értéke 3,1 μm-ra, illetve az R_{max} értéke 4,7 μm-ra emelkedett. Az eredmények tekintetében a forró ioncserélt vízben történő kezelés másfél-kétszeres érdességi eredmény növekedést okozott a „C” jelölésű technológiához képest.

A homokszórt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-rel kezelt felület esetében a kontroll felülethez képest, hatalmas felületi érdességbeli különbségek figyelhetők meg. Az előző fejezetben tárgyalt egyszeri felületkezeléssel készített homokszórt és alkohollal tisztított felülethez képest, a felületre felvitt primer enyhítette az érdességi értékek kiugró eredményeit. A primernek köszönhetően az átlagos felületi érdesség (R_a) értéke közel 2 μm-t

csökkent, így a 2,5 μm -os értéket felvéve. Továbbá az egyenetlenség magasság nagyságát (R_z) közel 10 μm -al csökkentette, így a 17 μm nagyságú értéket eredményezve, illetve a maximális egyenetlenség magasságát (R_{max}) 13,8 μm -al csökkentette, mely így 20,4 μm -os értéket eredményezett.

Az „L” jelölésű csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított, valamint a Sika® Primer-207-tel kezelt felület érdességi értékei is az előbb bemutatott eredményhez hasonlóan a primernek köszönhetően nagy mértékben csökkentek. Ezáltal az átlagos felületi érdesség (R_a) értéke 3,1 μm -t csökkent, így a 1,5 μm -os értéket felvéve. Továbbá az egyenetlenség magasság nagyságát (R_z) 19,1 μm -al csökkentette, így biztosítva a 10,9 μm nagyságú értéket. Illetve a maximális egyenetlenség magasságát (R_{max}) 14,4 μm -al csökkentette, mely így 24,2 μm -os értéket eredményezett. A 26. ábra értékeiről látható, hogy a primeres kezelés hiába csökkentette nagymértékben a homokszórt, illetve csiszolópapírral csiszolt felületek érdességi értékeit, továbbra is ez a két mechanikai felületkezelés típus nyújtja a legmagasabb érdességi értékeket.

Az „M” jelölésű fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felület eredményei alapján, ezen eljárás simább felületet biztosít a kontroll felülethez képest. Az egyszeres felületkezeléseken átesett mintadarabok közül a fátyollal csiszolt és alkohollal tisztított felülettel vetem össze, értékelem ki. A fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított felület esetében az R_a értéke 0,5 μm , az R_z értéke 4 μm és az R_{max} értéke 4,7 μm volt. Ehhez képest a primer felületre vitelével sikerült csökkenteni a felületi érdesség értékeit. Az átlagos felületi érdesség (R_a) értéke 0,2 μm -ra, az egyenetlenség magasság (R_z) 1,1 μm -ra, illetve a maximális egyenetlenség magasság (R_{max}) 1,5 μm -ra csökkent. Ezzel egy rendkívül sima, alacsony felületi érdességgel rendelkező felületet létrehozva.



26. ábra: Kétszeresen felületkezelt mintadarabok érdesség mérési eredményeinek szemléltetése

10. táblázat: Kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi érdesség mérésének értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	R _a (μm)	R _z (μm)	R _{max} (μm)
Alkohollal tisztított felület	B	0,3	2,2	2,8
Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület	G	0,3	3,1	4,7
Homokszórt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	K	2,5	17	20,4
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	L	1,5	10,9	24,2
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	M	0,2	1,1	1,5

A legmagasabb felületi érdesség értékeket az „F” jelölésű csiszolópapírral csiszolt és alkohollal tisztított felület eredményezte, míg a legalacsonyabb felületi érdességi eredményeket a Sika® Primer-207-rel kezelt felületen mértem.

5.3. Makroszkópi és mikroszkópi felvételek szemléltetése, elemzése

5.3.1. Makroszkópi és mikroszkópi felvételek kiértékelése

A kutatásom során az alumínium mintadarabok felületén elvégzett felületkezelésekről, melyek alól kivételt képez a kezeletlen és az alkohollal tisztított felület, makroszkópos és mikroszkópos felvételeket készítettem a nanoszerkezetben kialakult struktúrák nedvesítésre, felületi energiájára és a kötési szilárdságára való hatásának megértése, szemléltetése érdekében. Jelen fejezetben a különböző technológiákkal felületkezelt mintákról készített makroszkópos, illetve mikroszkópos felvételeket szemléltetem, magyarázom.

A dolgozat terjedelmi korlátai, miatt a makroszkópos felvételek a 10.3. fejezet Harmadik számú mellékletben tekinthetők meg.

A kezeletlen mintadarab felületének esetében a makroszkópos felvételen (27. ábra) a felületi szennyeződések, miatti opálosság, illetve a felületen jelenlévő olaj, kosz is jól látható (62. ábra). A mikroszkópi felvételen azonban egyértelműen látszódnak a felületen elhelyezkedő karcok, felületi hibák, zsírok, szennyeződések. Továbbá, mivel egy hidegen hengerelt alumínium lemezről beszélünk, a hengerlés iránya is megállapítható.

Az alkoholos felülettisztításnak alávetett lemez esetében, mind a makroszkópi (63. ábra), mind a mikroszkópi (28. ábra) felvételen is jól kivehető módon eltűntek a szennyeződések, olajfoltok, csak a hengerlés iránya és a kisebb felületi karcok láthatók.

A „C” módszernek megfelelően lézersugárral kezelt alumínium felületén kialakult ismétlődő, vonalas struktúra már a makroszkópos felvételen is látszik (64. ábra), de a mikroszkópos (29. ábra) képen még jobban megfigyelhető, melynek köszönhetően csökkent a felületen mért érdesség nagysága.

A 11. táblázatban az elvégzett felületkezelések és azok jelölései láthatók.

11. táblázat: Felületkezelések típusait és jelöléseit szemléltető táblázat

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Felületkezelések	Felületkezelések jelölése
Kezeletlen felület	A	Sika® Primer-207 kezelt felület	H
Alkohollal tisztított felület	B	Forró ioncserélt vízben kezelt felület	I
Lézersugárral kezelt felület	C	DOW SIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület	J
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított felület	D	Homokszórt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	K
Homokszórt Alkohollal tisztított felület	E	Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	L
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított felület	F	Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	M
Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület	G	Nátrium-hidroxiddal maratott alkohollal tisztított felület	N

A fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított felületről készített felvételek jól szemléltetik a fátolos csiszolás által létrehozott homogenizált felületet, mely eltüntette a kisebb karcokat és egyirányú érdes felületet hozott létre (30. ábra, 65. ábra).

A homokszórt, majd alkohollal tisztított felület esetében a makro (66. ábra) és mikro (31. ábra) felvételeken jól látható a homokszórás okozta teljes felületmódosulat, a létrejött inhomogén felület. Feltehetőleg a homokszórás eltávolította az alumínium felületéről az oxid réteg nagyrészét és új, rendkívül érdes felületet létrehozva.

Az „F” felületkezelési technológiával kezelt mintadarab esetében a P60-as csiszolópapír rendkívül érdes, inhomogén felületet hozott létre. A makroszkópos (67. ábra) és mikroszkópos (32. ábra) felvételeken is jól látható módon a csiszolópapír nagy kiterjedésű karcokat hagyott a felületen, feltehetőleg ezzel eltávolítva az oxidréteg nagyrészét.

A lézersugárral, majd forró ioncserélt vízben kezelt mintadarabok makroszkópos (68. ábra) és mikroszkópos (33. ábra) felvételein jól látható a lézersugár által kialakított ismétlődő, vonalas struktúra. Továbbá a mikroszkópos felvételen feltételezhetően a forró vizes kezelés oxidációs hatása látható.

A Sika® Primer-207-tel kezelt felületről készített felvételeken a kezelés felületi tulajdonságai figyelhetők meg, melyek a fekete, bizonyos struktúrában megszilárdult primert szemléltetik (34. ábra, 69. ábra).

A forró ioncserélt vízben kezelt felület esetében, ugyan a makroszkópos (70. ábra) felvételen lényeges változás nem látható, ellenben a mikroszkópos (35. ábra) képen minden bizonnyal az oxidréteg megváltozása, a kezelés oxidációs hatása figyelhető meg.

A DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felületről készített mikroszkópi képen (36.ábra) vélhetően a primer által a felületről nagyrészt foltokban lemart oxidréteg eltűnése látható. A makroszkópi képen (71. ábra) is jól megfigyelhető, hogy a felületet foltokban marta meg az oldat, ezáltal inhomogén struktúrát hozott létre.

A homokszórt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felület esetében a mikroszkópi (37. ábra) és makroszkópi felvételeken (72. ábra) látható a felületen lévő primer jelenléte. A felületre került alapozó primer kisebb érdességű, homogénebb felületet hozott létre a sima homokszórásos kezeléshez képest.

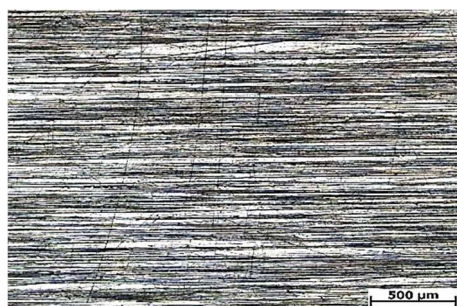
A csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított, majd Sika® Primer-207-tel kezelt felületről készített felvételeken jól látszik a primer jelenléte. A primernek köszönhetően csökkent a felületi érdesség, homogénebb felület jött létre az egyszerű csiszolópapírral történő kezeléshez képest (38. ábra, 73. ábra).

A fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületről készített makroszkópi felvételen (74. ábra) a felületen megszilárdult alapozófolyadék látható, továbbá a fátyollal létrehozott karcok eltűnése is megfigyelhető. A mikroszkópi felvételt (39. ábra) vizsgálva, feltételezhetően a primer a fátyolos csiszolás során létrehozott karcok iránya szerint, bizonyos struktúrában való megszáradása látható.

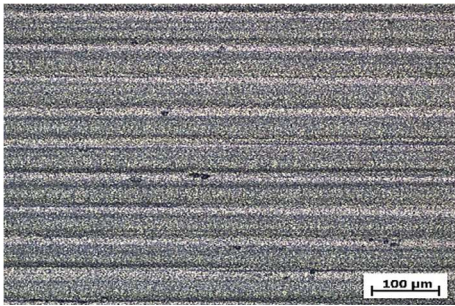
A nátrium hidroxid oldatban maratott és alkohollal tisztított felületről készített makroszkópos felvételen (75. ábra) az alap alkohollal tisztított felülethez képest nagymértékű változás nem figyelhető meg. A mikroszkópos (40. ábra) felvételen a hengerlés irányának megfelelően elhelyezkedő vonalas, de megmaradt felületű struktúra létrejötte figyelhető meg, melyet a felületi érdesség nagyságának csökkenése is bizonyít.



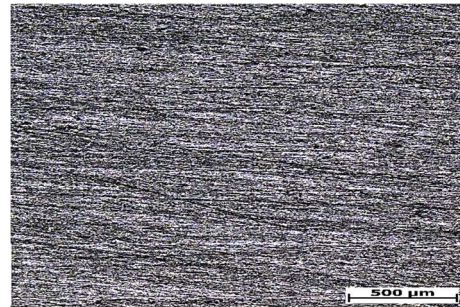
27. ábra: „A” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



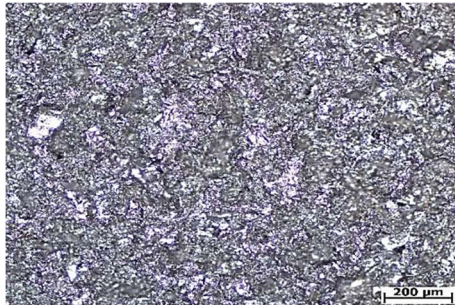
28. ábra: „B” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



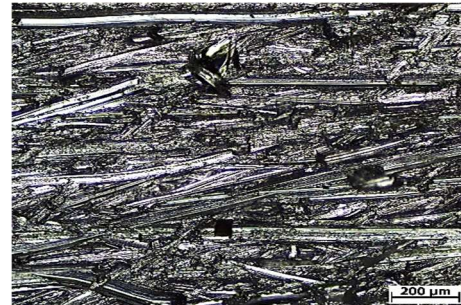
29. ábra: „C” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



30. ábra: „D” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



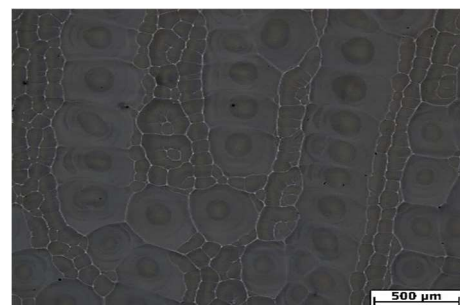
31. ábra: „E” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



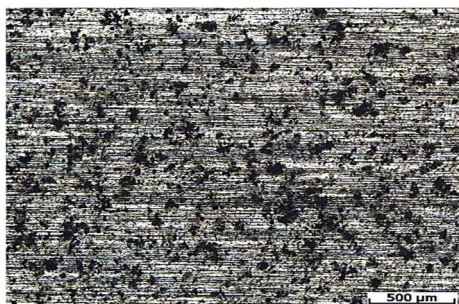
32. ábra: „F” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



33. ábra: „G” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



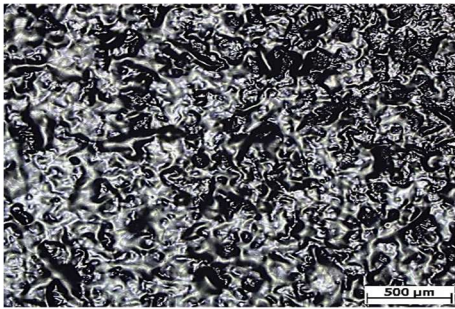
34. ábra: „H” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



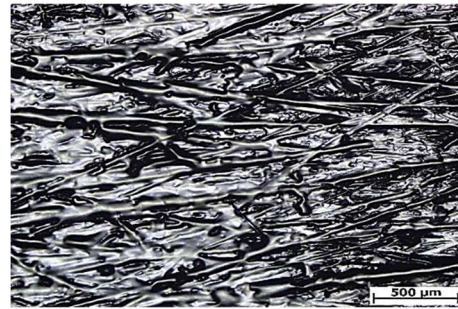
35. ábra: „I” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



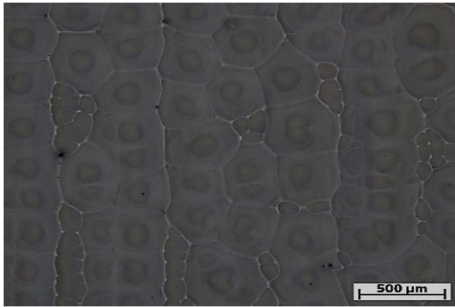
36. ábra: „J” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



37. ábra: „K” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



38. ábra: „L” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



39. ábra: „M” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele



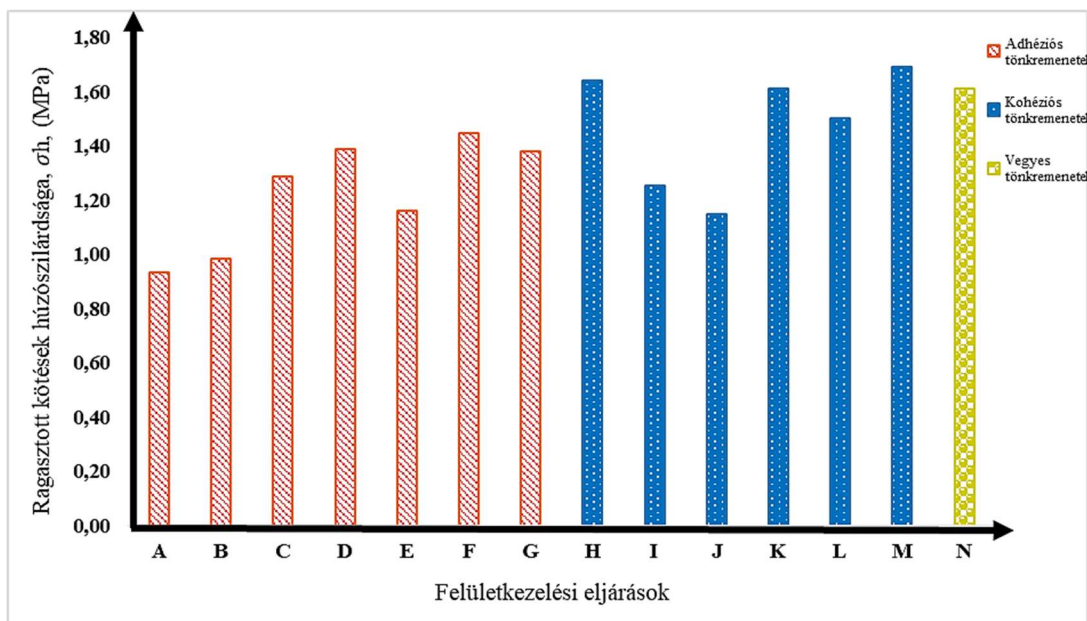
40. ábra: „N” módszerrel kezelt felület mikroszkópos felvétele

5.1. Ragasztott kötések húzószilárdságának és nyírószilárdságának vizsgálata

A ragasztott kötések húzószilárdságának, illetve nyírószilárdságának vizsgálata során a különböző felületkezelési technológiákkal előállított felületek és azok ragasztott kötéseinek húzószilárdságának, nyírószilárdságának értékeinek bemutatását, megmagyarázását végzem el. Az ábrákon látható diagramok oszlopainak értékei a vízszintes tengelyen elhelyezkedő felületkezelési eljárások, illetve a függőleges tengelyen felvett húzószilárdságok, illetve nyírószilárdságok függvényében vannak feltüntetve (41. ábra, 42. ábra). A vizsgálat során a húzószilárdsági és nyírószilárdsági értékek MPa (N/mm^2) mértékegységben értendők (12. táblázat, 13. táblázat).

A ragasztott kötések húzószilárdsági és nyírószilárdsági mérésének eredményeit a tönkremeneteli módok függvényében szemléltetem, magyarázom.

Az adhéziós tönkremenetelt a diagramokon a piros, sraffozott oszlopok szemléltetik. Az adhéziós tönkremeneteli mód esetében a legalacsonyabb húzószilárdságot, illetve nyírószilárdságot eredményező felületkezelés egyértelműen az „A” jelölésű kezeletlen, tisztítatlan felület, mely ahogy a 12. táblázatban is jól látható 0,93 MPa húzási szilárdsággal és a 12. táblázatban látható módon 0,66 MPa nyírószilárdsággal rendelkezett. A kedvezőtlen eredményt a felületen jelenlévő por, zsír, olaj, sorja okozta. Az eredményekből kiválóan bizonyítható az a tény, hogy a felületen elvégzett egyszerű alkoholos tisztítás kismértékben növelte a ragasztás szilárdságának húzó-, nyíró- teherbírását. Ezesetben a ragasztott kötés 0,98 MPa húzószilárdságú és 0,97 MPa nyírószilárdságú volt.



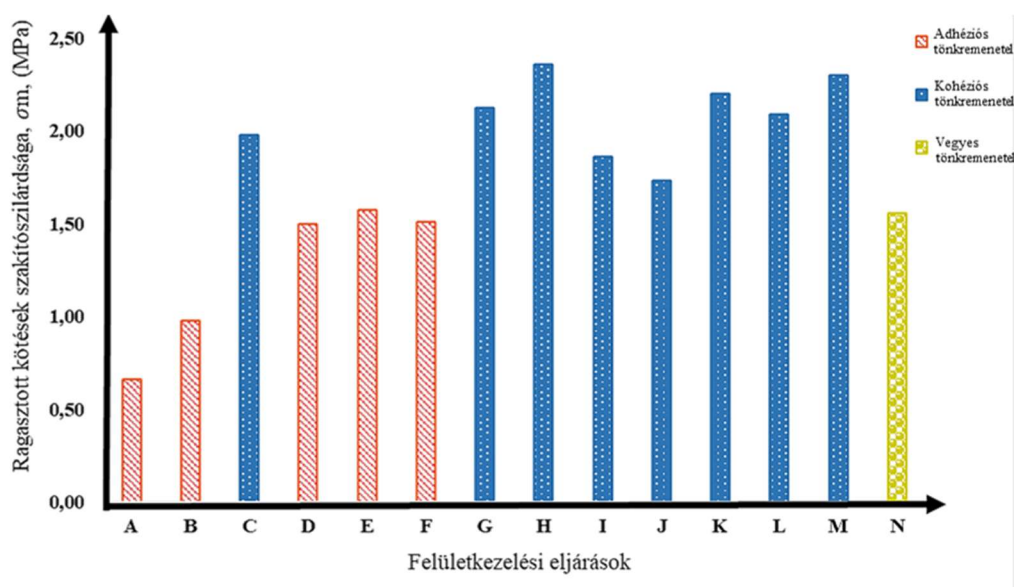
41. ábra: Ragasztott kötések húzószilárdságának szemléltetése

12. táblázat: Ragasztott kötések húzószilárdságának értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Ragasztott kötések húzószilárdsága (MPa)	Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Ragasztott kötések húzószilárdsága (MPa)
Kezeletlen felület	A	0,93	Sika® Primer-207 kezelt felület	H	1,64
Alkohollal tisztított felület	B	0,98	Forró ioncserélt vízben kezelt felület	I	1,25
Lézersugárral kezelt felület	C	1,29	DOW SIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület	J	1,15
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított felület	D	1,39	Homokszórt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	K	1,61
Homokszórt Alkohollal tisztított felület	E	1,16	Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	L	1,50
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított felület	F	1,45	Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	M	1,69
Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület	G	1,38	Nátrium-hidroxiddal maratott alkohollal tisztított felület	N	1,61

A „C” jelölésű lézersugárral kezelt felületek között kialakított ragasztás húzószilárdsági értéke megnőtt az alkohollal tisztított felület eredményeihez képest. Ezen esetben a ragasztott kötés húzószilárdsága 1,29 MPa-ra nőtt. A felületen létrehozott ragasztott kötés nyírószilárdsága a húzás adhéziós tönkremenetelével szemben kohéziósan ment tönkre. Ennek oka, hogy a ragasztott kötés nyíró igénybevétellel szembeni ellenállása nagyobb, mint a húzó igénybevétellel szemben. Nyírószilárdsága 1,01 MPa-os növekedést ért el, ezáltal 1,98 MPa-os nyírószilárdságot eredményezve. A felületen kialakított a ragasztásnak már jobban kedvező nanoszerkezet elősegítette a felületen létrejövő ragasztott kötés szilárdságának nagyobbodását. A fátyollal csiszolt alkohollal tisztított felület nyújtotta az adhéziós tönkremenetelű, ragasztott kötések egyik legmagasabb értékű húzószilárdságát. A kötés húzószilárdsági teherbírása

1,39 MPa volt. Feltehetőleg a fátyollal felületbe csiszolt egyirányú rendezett érdességi mélyedésekbe behatolt a ragasztó, ezáltal erősebb, nagyobb ellenállást biztosítva a húzó igénybevétellel szemben. Valamint a fátyolos csiszolással ugyan kis értékben, de növeltem a ragasztási felület relatív nagyságát, ezáltal biztosítva a nagyobb ragasztómennyiség befogadását a felületek között. A kötés nyírószilárdsága viszont csökkent a lézersugaras technológiával kezelt felület szilárdságával szemben, ellenben az alkohollal tisztítottával. A ragasztott kötés 1,5 MPa nyírószilárdságot eredményezett. Valószínűleg a húzószilárdságnál kifejtett feltevések, a nyírószilárdság esetében kisebb mértékben erősítették a kötés nyíróigénybevétellel szembeni viselkedését. A homokszórt alkohollal tisztított felület esetében a fentiekben már bemutatott nagymértékű felületi érdesség ellenére, romlott a kötés húzószilárdsággal szembeni ellenállása. Ahogy a 12. táblázatban is jól látható a ragasztott kötés húzószilárdsága ebben az esetben 1,16 MPa volt. A szilárdságbeli visszaesés oka valószínűleg a rendezetlen struktúrájú, a ragasztásnak már túlértécsített felület. A felületen létrehozott ragasztott kötés nyírószilárdsága 1,57 MPa értéket eredményezett. A csiszolópapírral csiszolt és alkohollal tisztított felülettel létrehozott kötés esetében alakult ki a legmagasabb húzószilárdság, melynek értéke 1,45 MPa. A nyírószilárdsági érték 1,51 MPa-os eredményével, közel a homokszórt felületen létrehozott kötés szilárdságával megegyező értéket biztosított. A homokszórtnál valamivel rendezettebb felületi struktúra megnövelte a ragasztott felület teherbírását. A lézersugárral-, forró ioncserélt vízben felületkezelt mintadarabokból készített ragasztott próbatestek eredményezték az egyik legmagasabb húzószilárdsági eredményeket az adhéziós tönkremenetel csoportjába tartozó darabok közül. Az adott technológiával kezelt, majd ragasztott próbatestek, ellenben a húzószilárdsági méréssel, a nyíróvizsgálat során kohéziós tönkremenetelt szenvedtek. Ennek oka, a ragasztás nyírással szembeni nagyobb ellenállása. A kötés húzószilárdsága ezesetben 1,38 MPa, míg nyírószilárdsága 2,13 MPa volt. Érdeemes megemlíteni, hogy a lézerrel kezelt felület további forró vízben történő kezelése habár kis mértékben is, de megnövelte a kötések húzó-, nyíró szilárdságát a simán lézerrel felületkezelt próbatestekéhez képest. Az adhéziós és kohéziós tönkremenetekhez képest jó szilárdsági értékek oka, feltehetőleg a nanoszerkezetben létrehozott és a forralás során létrejött struktúrában keresendő. Az adhéziós tönkremenetel során nem a ragasztóanyagban, hanem a ragasztóanyag és a felület közötti összetartó erő szűnik meg, mely a kötés adhéziós tönkremeneteléhez vezet. Ragasztott kötések szempontjából rendkívül hátrányos és kerülendő tönkremeneteli típus, melynek okán a ragasztott kötések igénybevételekkel szemben állított teherbíró képessége is jelentősen kisebb.



42. ábra: Ragasztott kötések nyírószilárdságának szemléltetése a felületkezelési eljárások függvényében

A szilárdsági eredmények vizsgálatát a kohéziós tönkremenetel csoportjába tartozó mérési eredményeim megtárgyalásával folytatom. A diagramon a kohéziós tönkremenetelt a kék, pettyes oszlopok szemléltetik. A kohéziós tönkremenetelt szenvedett próbatetek esetében felesleges a szilárdsági értékeket elemezni, ugyanis a kohézió elérése volt a cél. A kohéziós tönkremenetelű, ragasztott próbatetek szilárdsága közötti eltérést nem az adott felületkezelések okozták. Ebből kifolyólag a kohéziós tönkremenetelű vizsgálatok bemutatása során, a szilárdsági eredményeimet szemléltetem, de nem mutatom be.

A Sika® Primer-207-tel kezelt felület ragasztott kötésének esetében, már kohéziós tönkremenetelről beszélhetünk. A ragasztott kötés, ahogy a 42. ábra diagramján is jól látható, a kutatás során elvégzett összes nyírószilárdság közül a legmagasabb értéket adta. Mivel a ragasztás előtt a felületen nem történt semmilyen más lézersugaras vagy mechanikai felületkezelés csak a kémiai alapozó folyadék felvitele, ezért az elért eredmény a Sika® Primer-207 alapozó folyadéknak köszönhető. A forró ioncserélt vízben kezelt majd ragasztott felület esetében a húzószilárdságnál nem beszélhetünk kimagasló eredményről, míg a kötés nyírószilárdsága viszont egy jó közepes eredményt adott a kohéziós tönkremenetel csoportjában. Ugyanakkor fontosnak találok felhívni a figyelmet arra a tényre, hogy a lézersugárral és forró ioncserélt vízben kezelt, majd ragasztott próbatetek adhézios, míg a simán forró ioncserélt vízben kezelt majd ragasztott felületek kohéziós tönkremenetelt szenvedtek. Ennek oka az lehet, hogy a lézersugaras felületkezeléssel létrehozott felületen a forró vizes kezelés során végbement oxidréteg változás kisebb mértékű tapadást biztosított a felület és a ragasztóanyag között, mint a sima alumínium felületén végbement oxidréteg változás.

13. táblázat: Ragasztott kötések nyírószilárdságának értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Ragasztott kötések szakítószilárdsága (MPa)	Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Ragasztott kötések szakítószilárdsága (MPa)
Kezeletlen felület	A	0,66	Sika® Primer-207 kezelt felület	H	2,36
Alkohollal tisztított felület	B	0,97	Forró ioncserélt vízben kezelt felület	I	1,86
Lézersugárral kezelt felület	C	1,98	DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület	J	1,73
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított felület	D	1,50	Homokszórt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	K	2,20
Homokszórt Alkohollal tisztított felület	E	1,57	Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	L	2,09
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított felület	F	1,51	Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	M	2,30
Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület	G	2,13	Nátrium-hidroxiddal maratott alkohollal tisztított felület	N	1,56

A DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felületek és az azokból létrehozott ragasztott kötések kedvezőtlen kötési szilárdságokat eredményeztek, mind a húzó-, mind a nyíró igénybevételekkel szemben. Valószínűleg a kezelés során létrehozott felületi struktúra kedvezőtlen volt a ragasztást érő igénybevételekkel szemben. A homokszórt, alkohollal tisztított és a Sika® Primer-207 alapozó folyadékkal kezelt felületekből létrehozott ragasztott próbatestek a kohéziós tönkremenetelű próbatestek között, közepesen jó szilárdsági értékekkel rendelkeztek. A primer által előállított, mérsékeltébb érdességű felületnek köszönhetően a ragasztott kötés szilárdsága nagymértékű javulást eredményezett a homokszórt, de nem primerezett (E) felületek ragasztott kötéseéhez képest. A csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított, majd Sika® Primer-207 alapozó folyadékkal kezelt mintadarabokból elkészített ragasztott kötések szilárdsága a „K” homokszórt és primerezett technológiával létrehozott ragasztott próbatestek szilárdsági eredményeihez képest kis mértékben romlottak. Érdeemes megemlíteni a tényt, hogy a sima csiszolással készített ragasztott próbatestek húzószilárdsága közel egyező a jelenleg vizsgált technológia szilárdságával, ellenben a nyírószilárdságnál, ahol a primer jelenléte javulást hozott a szilárdsági eredményekben.

Az „M” jelölésű fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított, majd Sika® Primer-207 alapozó folyadékkal kezelt felületekből, ragasztott kötéssel létrehozott próbatestek esetében, mind a húzó-, mind a nyírószilárdsági eredményekben nagy áttörést értem el. Az egész kutatás során a húzószilárdságra vizsgált technológiák közül a jelenleg tárgyalt típus eredményezte a legmagasabb szilárdsági értéket. A nyírószilárdságát vizsgálva, pedig a második legjobb értéket nyújtotta. Feltehetőleg a ragasztott kötés számára legideálisabb érdességi, nedvesítési és felületi energiai paraméterek az ezzel a technológiával felületkezelési eljárás alakítja ki. Az ebben a fejezetben értékelt eredmények kohéziós tönkremenetelt szenvedtek a vizsgálatok

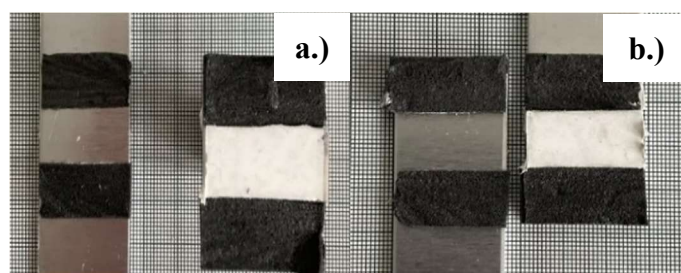
során, mely a kezelt felület és a ragasztó között létrejövő rendkívül erős kapcsolatra enged következtetni. A kohéziós kapcsolat erőssége nagyon kedvező a ragasztott kötések terhelhetősége szempontjából. Érdemes megemlítenem a primerrel kezelt felületek és a tönkremenetel közötti kapcsolatot. Ugyanis a 42. ábra diagramjából és a 13. táblázat felületkezeléseinek leírásából jól látható módon a primerrel kezelt felületek esetében biztosított volt a kohéziós tönkremenetel végkimenetele. Ennek oka az alkalmazott Sika® Primer-207 alapozó folyadékkal történő kezelés. A Sika® Primer-207 alapozó folyadék egy ragasztási kötéshatékonyt növelő, előkészítő anyag. Továbbá a DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felületű és a forró ioncserélt vízben kezelt felületű mintadarabokból elkészített ragasztott kötések esetében is kohéziós tönkremenetel figyelhető meg. A tönkremeneteli módokat figyelembe véve kiemelem a forró ioncserélt vízben történő felületkezelést, mely rendkívül egyszerű, az ipar számára is kedvezőbb a költségráfordítás szempontjából is.

A fentmaradt „N” jelölésű nátrium-hidroxid oldatban maratott mintadarabokból elkészített próbatestek közepes értékű szilárdsági eredményeket adtak. A kötés húzószilárdsága 1,61 MPa volt, míg nyírószilárdsága az 1,56 MPa-os eredményt érte el. A kapott értékek a kötés vegyes tönkremenetelével magyarázhatók. A vegyes tönkremenetel során a kezelt felület és a ragasztó között részben jó, részben rossz tapadási viszonyok miatt, a felületre nem megfelelő szilárdsággal tapadt ragasztóanyag leválik a felületről. A megfelelően felületre tapadt ragasztórészben pedig kohéziós tönkremenetel következik be.

5.2. Ragasztott kötések tönkremeneteli módjának bemutatása.

5.2.1. Kezeletlen felületű mintadarabokkal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

Az ezzel a technológiával készített próbatestek, ahogy azt a 43. ábra is jól szemlélteti, egyértelmű adhéziós tönkremenetelt szenvedtek a vizsgálatok során. Az adhéziós tönkremenetelt feltehetőleg a ragasztott felületen lévő, szennyeződések, zsír, sorja, por okozta.

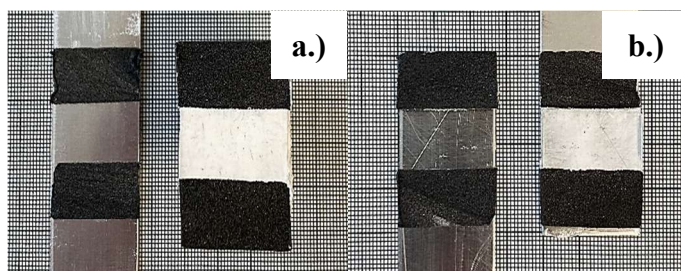


43. ábra: Adott felületkezeléssel módosított mintadarabok ragasztott kötésének húzó- a.), nyíró b.) vizsgálatának tönkremeneteli módja

5.2.2. Alkohollal tisztított felületű mintadarabokkal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

Az alkohollal megtisztított felületen elkészített próbatestek is a tisztítás ellenére (44. ábra) látható módon adhéziós tönkremenetelt mutattak a szilárdsági vizsgálatok során. Az adhéziós

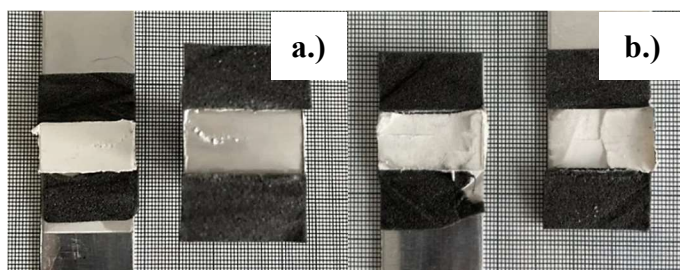
tönkremenetel oka a felületkezelések hiánya, a ragasztásnak nem megfelelő felületi struktúra jelenléte.



44. ábra: Jelen felületkezeléssel módosított mintadarabokból elkészített ragasztott húzó- a.), nyíró b.) próbatestek tönkremeneteli módjának szemléltetése

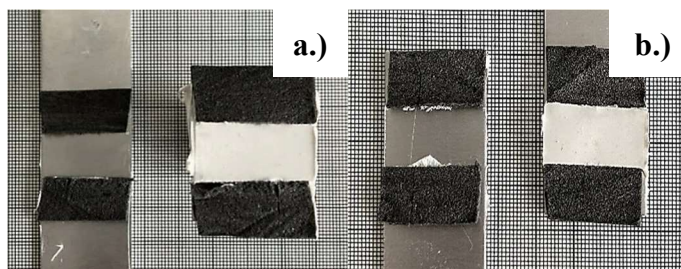
5.2.3. Lézersugárral kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

A lézersugaras technológiával kezelt mintákból húzószilárdsági vizsgálatra készített ragasztott kötések adhéziós tönkremenetelt mutattak. Továbbá a 45. ábra bizonyítja, hogy a nyírószilárdsági vizsgálat során a próbatest kohéziós tönkremenetelt szenvedett. Ennek oka a ragasztott kötés nyíróigénybevétellel szembeni nagyobb ellenállása. Az adhéziós roncsolódás oka a nem megfelelően kialakított lézeres felületstruktúra a nanoszerkezetben.



45. ábra: Lézersugárral kezelt felületű mintadarab húzó- a.), nyíró b.) ragasztott kötésének tönkremeneteli módja

5.2.4. Fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

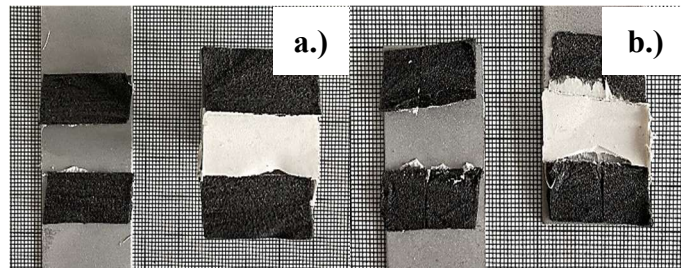


46. ábra: Fátyollal csiszolt és alkohollal tisztított felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

A fátyolos csiszolással, alkoholos tisztítással készült felületekből létrehozott ragasztott próbatestek adhéziós tönkremenetellel végződtek (46. ábra).

5.2.5. Homokszórt, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

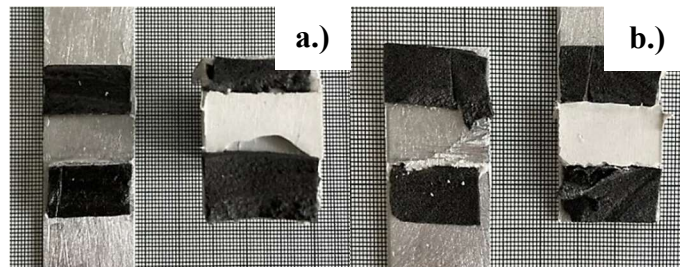
A homokszórt majd alkohollal tisztított mintadarabokból elkészítettek próbatestek, kivétel nélkül adhéziós tönkremenetelt szenvedtek a szilárdsági vizsgálatok során (47. ábra). Az adhéziós tönkremenetelt a ragasztott kötésnek nem elég kedvező felületi struktúrájával magyarázom.



47. ábra: Homokszórt, alkohollal tisztított felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

5.2.6. Csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

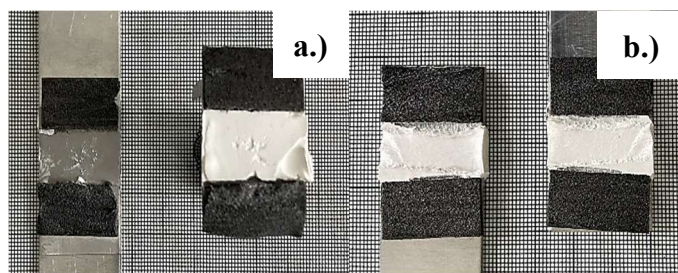
A P60-as csiszolópapírral csiszolt majd alkohollal tisztított felületeken létrehozott ragasztott kötés az előző technológiával megegyező módon, adhéziós tönkremenetelt szenvedett (48. ábra). A kötés adhéziós tönkremenetelét ugyancsak a ragasztott kötésnek nem eléggé megfelelő felületi struktúra magyarázza



48. ábra: Csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

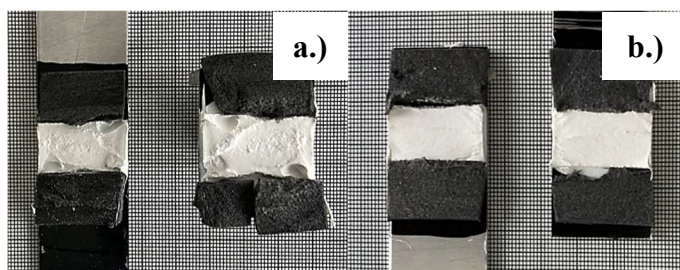
5.2.7. Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

A lézersugárral, majd forró ioncserélt vízben kezelt majd ragasztott felületekből húzószilárdsági vizsgálatra elkészített próbatestek adhéziós tönkremenetelt eredményeztek. Továbbá a 50. ábra kiválóan szemlélteti, hogy a nyírószilárdsági vizsgálat során a próbatest kohéziós tönkremenetelt szenvedett. Ennek oka, hogy a jelen felületkezeléssel módosított ragasztott próbatest nyíróigénybevétellel szembeni ellenállása nagyobb. A szilárdsági vizsgálat során végbement adhéziós tönkremenetel a még nem eléggé kifejlesztett lézersugaras felületkezeléssel elkészített felületi struktúrával magyarázom.



50. ábra: Lézersugárral, forró ioncserélt vízben kezelt felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

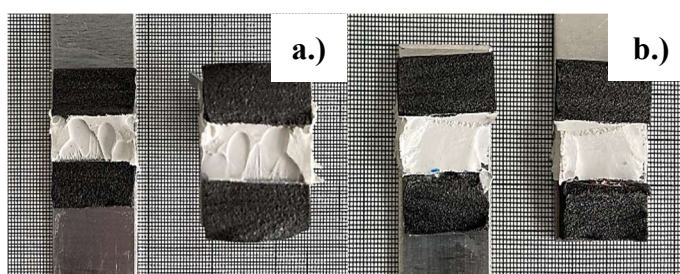
5.2.8. Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja



49. ábra: Sika® Primer-207-tel kezelt felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

Sika® Primer-207-tel kezelt mintadarabokból elkészített kötések kohéziós tönkremenetelt eredményeztek a vizsgálatok során (49. ábra). A kohéziós tönkremenetelt a primer által előállított, ragasztott kötésnek nagymértékben megfelelő felület indokolja.

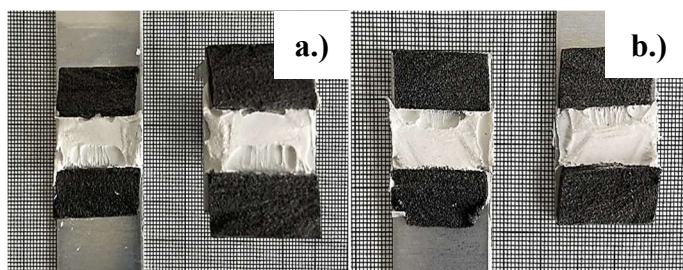
5.2.9. Forró ioncserélt vízben kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja



51. ábra: Adott kezeléssel módosított felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

A forró ioncserélt vízben kezelt mintadarabok felületén végbement oxidréteg megváltozás a ragasztott kötés szilárdsági vizsgálatainak során az 51. ábra képen látható módon, kohéziós tönkremenetelt eredményeztek. A felületen végbement változás nagyban megnövelte a ragasztó és a felület közötti összetartó erő nagyságát.

5.2.10.DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

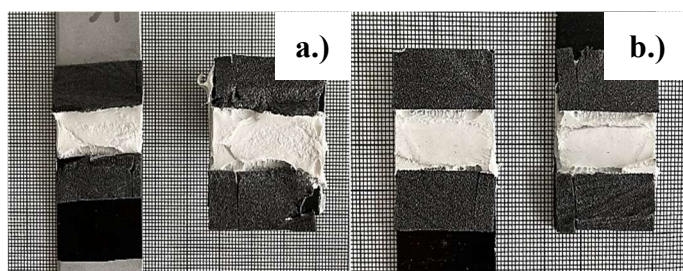


52. ábra: DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felületű húzó- a.), nyíró b.)
próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

A DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felületekből létrehozott ragasztott kötések szilárdsági vizsgálata során kohéziós tönkremenetelt mutattak (52. ábra). A primer kémiai felületmegmarása, olyan a ragasztásnak kedvező felületi struktúrát hozott létre, amely nagyban elősegíti a ragasztó és a kezelt felület közötti összetartó erőt.

5.2.11.Homokszórt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

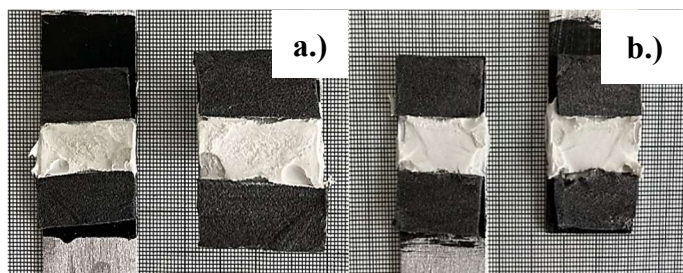
Az ezzel a technológiával felületkezelt mintadarabokból létrehozott ragasztott kötések szintén kohéziós tönkremenetelt szenvedtek a szilárdsági vizsgálatok során (53. ábra). A primernek köszönhetően a sima homokszórt majd alkohollal tisztított felületekből létrehozott ragasztott kötésekkel szemben kohéziós tönkremenetellel végződtek a vizsgálatok. Feltehetőleg a primer által elért kisebb érdesség és a ragasztásnak megfelelő felületi struktúra vezetett erre az eredményre.



53. ábra: Jelen kezeléssel módosított felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest
ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

5.2.12.Csiszolópapírral csiszolt, Alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

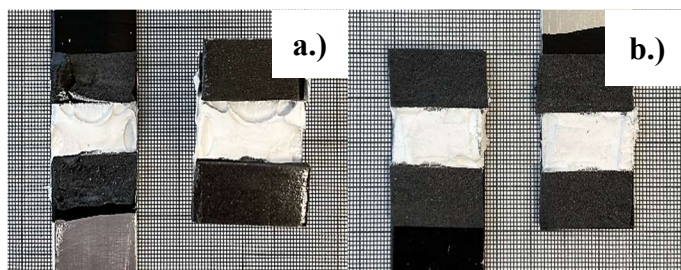
Ezesetben a ragasztott kötések elvégzett vizsgálatok során kohéziós tönkremenetelt tapasztaltam (54. ábra). A homokszórt és primer felületéhez hasonlóan, jelen eredmény is a primer által kialakított, ragasztásnak kedvező felületi érdesség és struktúra eredményezte a kohéziós tönkremenetelt.



54. ábra: Adott kezeléssel módosított felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

5.2.13. Fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

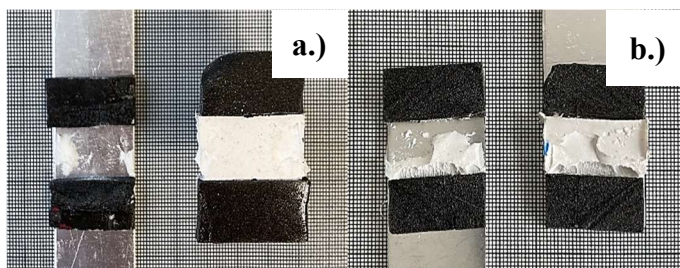
Jelen esetben tárgyalt technológiával létrehozott ragasztott kötések a szilárdsági vizsgálatokon kohéziós tönkremenetelt szenvedtek. A fátyol és a primer összehangjában kialakult felületi struktúra rendkívül ellenálló szilárdsági eredményekhez és kohéziós tönkremenetelhez vezetett (55. ábra).



55. ábra: Adott felületkezeléssel módosított felületű húzó- a.), nyíró b.) próbatest ragasztott kötésének tönkremenetelének szemléltetése

5.2.14. Nátrium-hidroxiddal maratott, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja

A kutatási munkám során jelen technológia eredményezte az egyetlen vegyes típusú ragasztott kötés tönkremenetelt. A nátrium-hidroxid oldatban kezelt felületből létrehozott ragasztott kötéseknel a felület és a ragasztó között csak részben alakult ki a megfelelő tapadási szilárdság. Ez a ragasztott kötések vegyes tönkremeneteléhez vezetett (56. ábra).



56. ábra: Adott mintadarab ragasztott kötésének húzó- a.), nyíró b.) vizsgálatának tönkremeneteli módja

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatomban kutatási projektje során az alumínium felületén elvégzett különböző felületkezelési technológiák hatását vizsgáltam a felület nedvesítési értékeire, továbbá a felületi érdességek megváltozására. Valamint kutattam és értékeltem a felületkezelések módosító hatását a kezelt felületekről készített makroszkópos és mikroszkópos felvételekkel, illetve a módosított felületekből készített ragasztott kötések húzó-, és nyíró igénybevételekkel szembeni ellenállását, a kötések tönkremenetelének fajtáját.

A legfontosabb eredményeim közé sorolnám a peremszög, illetve felületi energia értékeinek nagymértékű fejlődését, illetve a húzószilárdság 82%-os és a nyírószilárdság 258%-os növelését a kezeletlen felülethez képest.

A peremszög és a felületi energia kutatása és vizsgálata során a legjelentősebb eredményeket a lézersugárral-, lézersugárral és forró ioncserélt vízben-, és a forró ioncserélt vízben kezelt felületek esetében értem el, melyek 0°-os peremszög értéket és maximális 88 mN/m polár komponensű felületi energia értéket jelentettek.

A felületi érdesség mérések során relatív a kedvező érdesség értéke, ugyanis nem lehet biztosan eldönteni a legkedvezőbb felületi érdességek értékét. Kutatásom során a legkisebb értékű érdességet a Sika® Primer-207-tel kezelt felület esetében mértem. A legkisebb felületi érdességi értéket az $R_a=0,16\ \mu\text{m}$ (átlagos felületi érdesség), $R_z=0,997\ \mu\text{m}$ (egyenetlenség magasság) és $R_{\text{max}}=1,1\ \mu\text{m}$ (maximális egyenetlenség magasság) értékek jelentették. A legkisebb elért felületi érdesség jelentősége az, hogy csökkenteni tudtam az alap kontroll lemezen mért érdesség nagyságát, ezzel egy simább egyenletesebb felület létrehozva.

A ragasztott próbatestek húzószilárdsággal szembeni ellenállás meghatározására elvégzett vizsgálataim során a legnagyobb értéket a fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületből létrehozott próbatestek esetében kaptam, mely ez esetben 1,69 MPa volt. A húzásra elért szilárdság növelése kiemelkedő a kezeletlen felületű próbatestek 0,93 MPa-os értékeihez képest.

A ragasztott próbatestek nyírószilárdsággal szembeni ellenállás meghatározására elvégzett vizsgálataimnál a legmagasabb eredményt a Sika® Primer-207-tel kezelt mintadarabokból elkészített próbatestek esetében kaptam, mely ez esetben 2,36 MPa volt. A nyírása során elért szilárdság növelése kiemelkedő a kezeletlen felületű próbatestek 0,66 MPa-os nyírószilárdsági értékeihez képest.

A Neumann János Egyetemen töltött további 2 félévem során szeretném a jelenlegi kutatásom kibővíteni, fejleszteni további technológiák bevonásával, illetve a jelenlegi dolgozatomban szereplő próbatesteket újból elkészíteni és többfajta vizsgálatnak is alávetni. Célom az alumínium ragasztástechnológiájának tökéletesítés a gépjárműipar számára, melynek köszönhetően tovább növekedhet a járművek össztömeg csökkenésének aránya.