



Neumann János Egyetem
Műszaki és Informatikai
Kar

Festett alumínium lemezek ragaszthatóságának vizsgálata kémiai eljárásokkal

Tudományos Diákköri Konferencia Dolgozat

Szerző:

Capár Andrea
Járműmérnök hallgató

Témavezetők:

Tajti Ferenc
Tanszéki mérnök

Palásti Ferenc
Tanszéki mérnök

2023

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	3
2. CÉLKITŰZÉS	5
3. AZ ALUMÍNIUM	6
3.1. AZ ALUMÍNIUMRÓL ÁLTALÁNOSÁGBAN	6
3.2. AZ ALUMÍNIUM FELHASZNÁLÁSA AZ IPARBAN	7
3.3. A FESTETT ALUMÍNIUM LEMEZ.....	7
3.4. KÖTÉSTECHNOLÓGIÁK AZ ALUMÍNIUM ESETÉN	9
4. RAGASZTÓK	12
4.1. TERMÉSZETES EREDETŰ RAGASZTÓK	12
4.1.1. <i>Növényi és állati eredetű ragasztók.....</i>	<i>12</i>
4.1.2. <i>Ásványi eredetű ragasztók.....</i>	<i>13</i>
4.2. SZINTETIKUS RAGASZTÓK.....	13
4.3. A RAGASZTÓK ALKALMAZÁSA	14
5. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS TECHNOLÓGIÁK	15
5.1. FESTETT ALUMÍNIUM LEMEZEK ÉS L-PROFILOK	15
5.2. TISZTÍTÁS ÉS ZSÍRTALANÍTÁS.....	15
5.3. PRIMER ÉS RAGASZTÓ.....	16
5.3.1. <i>Primer</i>	<i>17</i>
5.3.2. <i>Sikaflex252.....</i>	<i>17</i>
5.3.3. <i>Távtartó ragasztó</i>	<i>17</i>
5.4. KÉMIAI FELÜLETKEZELÉSI ELJÁRÁSOK.....	18
5.4.1. <i>Kálium-permanganát a felületmódosításhoz</i>	<i>18</i>
5.5. OLDATOK A RAGASZTOTT KÖTÉSEK VIZSGÁLATÁHOZ KÖRNYEZETÁLLÓSÁGI KÉRDÉSBEN	19
5.5.1. <i>Ecetsav-nátrium-acetát pufferoldat</i>	<i>19</i>
5.5.2. <i>Nátrium-karbonát.....</i>	<i>19</i>
5.5.3. <i>Konyhasó oldat</i>	<i>19</i>
5.5.4. <i>Domestos</i>	<i>19</i>
5.6. GÁZLÁNGOLÁS	20
5.7. A NEDVESÍTÉS STATIKUS MÉRÉSI MÓDSZERE	21
5.8. A RAGASZTOTT KÖTÉSEK MECHANIKAI VIZSGÁLATA	22
6. TAVALYI KÍSÉRLETEIM RELEVÁNS EREDMÉNYEI	24
6.1. A GÁZLÁNGGAL VALÓ KÍSÉRLET EREDMÉNYEI	24
6.2. KÁLIUM-PERMANGANÁTTAL KEZELT FELÜLET TAVALYI EREDMÉNYEI.....	25
7. KUTATÁSI MUNKA A KÁLIUM-PERMANGANÁTTAL.....	26
7.1. A KÍSÉRLET ELŐKÉSZÜLETEI	26
7.2. A KÍSÉRLET VÉGREHAJTÁSA	27
7.3. EREDMÉNYEIM A KÁLIUM-PERMANGANÁT OLDATTAL VALÓ KÍSÉRLETBEN	28
8. A KÖRNYEZETÁLLÓSÁG VIZSGÁLATA	30
8.1. A VIZSGÁLAT CÉLJA	30
8.2. A VIZSGÁLATI KÖRÜLMÉNYEK LÉTREHOZÁSA	30
8.3. A VIZSGÁLATOK VÉGREHAJTÁSA ÉS A MINTÁK MECHANIKAI VIZSGÁLATA	31
9. ÖSSZEFOGLALÁS	34
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	35
IRODALOMJEGYZÉK	36
ÁBRAJEGYZÉK	37

1. Bevezetés

A modern iparban nagy szerepet játszik a felület festése, esztétikailag szebb hatást képez az ember számára, mivel a színek sokkal jobb megjelenést biztosítanak. Ha a festetlen kezelt felületeket alkalmazzuk, azok nem mindig bizonyulnak hasznos választásnak, ezért az iparágak próbálnak a festett felületek jövőjébe tekinteni.

A műszaki élet egyik legmeghatározóbb anyaga az alumínium [1], egyre több helyen használják előszeretettel és úgy vélik ez az anyag továbbra is meghatározó szerepet fog betölteni az ipari világban. Mivel könnyűfémről beszélünk, így nagyon szerteágazó a felhasználási területe, amiben alkalmazni tudjuk. Mechanikai tulajdonságai kiválóak és erősen rozsdásodásálló.

A járműipar számára az utóbbi években már az egyik legfontosabb alapanyaggá vált, mivel könnyű, de masszív szerkezeteket alakíthatnak ki, ami csökkenti az energiafogyasztást, miközben növeli a teherbírást. A repülőgépipar már régóta alkalmazza, mivel az alumínium tulajdonságainak köszönhetően jól bírja azokat az erőket melyek a légtérben hatnak rá. Ahhoz, hogy esztétikailag is a legjobbat hozzuk ki egy alumínium gyártmányból, színeket és különböző festési technológiákat alkalmazunk a felületen. A festékanyagok széles skálán mozognak, mind színek, mind összetétel terén.

Kötéstechnológiai szempontból egyre gyakrabban alkalmaznak ragasztott kötéseket az alumínium elemeknél. Esztétikai szempontból a kötés vonala nem látható, mint például egy hegesztett kötés esetén, így letisztultabb hatást kelt. A ragasztott felületen elkerülhetjük azokat a kötéstechnológia problémákat, mint például, hogy nem egyenletes a kötésünk, hisz itt megadott mennyiséget megadott felületen osztatunk szét egységesen.

A ragasztott kötés minősége nagyban függ a felület nedvesítőképességétől, célunk, hogy a felület nedvesítés szempontjából hidrofíln módon viselkedjen. A ragasztó tapadásánál segít, ha a felület kellően nedvesít. Az alumínium ragasztásában a szintetikus fajtájú ragasztókat részesítjük előnyben (pl.: poliuretán ragasztók). Ebben a ragasztó csoportban vannak olyan alapanyagok, amik eltérnek egymástól, ezért fontos ezen készítmények megismerése, vizsgálatok és kísérletek által. A gyártó mindig ad útmutatást egy termékhez, de ezen kívül is lehetnek olyan körülmények (a levegő nedvességtartalma), amelyek jobb hatással vannak a ragasztóra.

A tudomány már több vizsgálati szempontot leírt, de ezeket lehet fejleszteni vagy akár arra is képesek lehetünk, hogy teljesen új szemszögből közelítsük meg a kiválasztott alapanyagot.

Amikor festett alumínium lemezről van szó fontos szem előtt tartani magát a festéket is, mivel a festék olyan kémiai vegyületeket tartalmaz, amelyek hatására a felületünk megváltozik a normál alumíniumhoz képest. Ilyenkor a felület szerkezetét változtatnunk kell ahhoz, hogy megtaláljuk azt a pontot, ahol a ragasztó szinte tökéletesen tapad a felülethez és nem válik le róla a térhálósodási idő után sem. Ez azért fontos szempont, mert a tiszta fémfelület és a festékréteg kémiaileg eltérőek, tehát a különböző kémiai behatásokra is máshogy fognak reagálni.

Tavalyi kísérleteim során különböző felületkezelési eljárásokkal kísérleteztem, hogy elérjem a festett alumínium lemezek tökéletesebb felületi nedvesítését. Kísérleteim folyamán használtam lézersugaras felületkezelést, gázlángot és különböző kémiai vegyületeket. Mindegyik kísérletsorozat szolgált pozitív és negatív eredményekkel is, viszont a legjobb ragasztási körülményt a gázlánggal kezelt felület adta. Mivel a másik kiemelkedő eredményt a kémiai felületkezelés adta, ezért ebben a témában nem szerettem volna még abbahagyni a kutatást, így idei dolgozatom egyik alapkőve a kémiai felületkezelés volt savas kálium-permanganát oldat felhasználásával. Ezenkívül nem csak a ragasztott kötés erősségére voltam kíváncsi, hanem a külső terű alkalmazhatóság miatt környezetállósági vizsgálatokat is végeztem a ragasztott lemezeinken.

Ebben a dolgozatomban arról olvashatnak, milyen felületkezelési módszerekkel kísérleteztem, hogy a ragasztás minél tökéletesebb legyen.

2. Célkitűzés

A kutatási munkám során céloom kettős volt: Egyrészt további kísérleteket szerettem volna végezni azzal a kémiai felületmódosító eljárással, amivel a tavalyi évben kevesebb időt foglalkoztam, nevezetesen a kálium-permanganátos oxidatív felületmódosítással. Másrészt környezetállósági vizsgálatot szerettem volna végezni a ragasztott festett alumínium lemezeken. A kémiai felületkezelés/felületmódosítás kálium-permanganát felhasználásával tavaly csak részprojekt volt, ezért idén a témát nagyobb körben szerettem volna vizsgálni úgy, hogy többféle összetételű oldatban is meg tudjam figyelni annak felületmódosító hatásait. Itt azért is fontos a kémiai felületkezeléssel foglalkozni, mivel a festékréteget szerettem volna oly módon módosítani, hogy a festett lemez felületi energiája megfeleljen egy jó ragasztási körülménynek.

A környezetállósági teszt az alappillére egy olyan ragasztott kötés vizsgálatának, ami az időjárási hatásoknak ki van téve, illetve jelen álláspont szerint ez a festett alumínium épületburkoló elemként lesz beépítve, így fontos az esztétikai szépség. A tisztítószernek való ellenállás is egy környezetvizsgálati szempont. Céloom az volt tehát, hogy a különböző ragasztási technológiákat alávesssem egy ilyen jellegű, kémiai anyagokkal kapcsolatos vizsgálatnak, valamint hogy átfogó képet kapjunk arról, hogy a különböző felületmódosító eljárásokkal kapott ragasztott kötések mennyire állnak ellen a különböző módon szimulált környezeti hatásoknak.

3. Az alumínium

3.1. Az alumíniumról általánosságban

Az alumínium (1. ábra) a periódusos rendszer III. főcsoportjába tartozó könnyűfém, rendszáma: 13; vegyjele: Al. Az alumínium a földkéreg harmadik leggyakoribb eleme (8,1%), de elemi állapotban nem fordul elő, nagy kémiai reakcióképessége miatt. Színét tekintve ezüstös fényű, puha és végható, relatív kis sűrűséggel rendelkezik (fajsúlya: 2,7 g/cm³) és kedvezőek a mechanikai tulajdonságai. Kristályrácsa lapközepes-köbös, nem mágnesezhető, szakítószilárdsága kicsi, valamint kiválóan alakítható, hengerelhető és kitűnő hő és elektromos vezető. Az alumínium, mint elem a földkéregben oxid formában fellelhető, viszont magához az előállításához, az ásványi formáját használják, ami a bauxit. Több évtizeden keresztül kísérleteztek olyan gyártási folyamatokkal, amik által jó minőségű alumíniumot gyártanak a bauxitból és ezáltal az ipari igényeknek is eleget tehetnek. Felhasználási köre nagyon szerteágazó, kis alkatrészekről, egészen a nagyipari felhasználásig.



1. ábra Az alumínium

A felületén kialakuló alumínium-oxid (Al_2O_3) védő hatású passzív réteg, mely a környezeti korróziós hatásoktól megvédi a fémeket. Az oxid korrózióállósága kiemelkedő, ez a vékony felület magas olvadásponttal rendelkezik, így nem könnyű eltávolítani a felületről. Ha az oxid réteget mégis eltávolítjuk (például sósav, vagy más erős savak segítségével), akkor a vízzel is reagál képes, alumínium-hidroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$) keletkezik és hidrogén gáz szabadul fel. Az iparban az alumínium termékeken széleskörűen használják az eloxálás folyamatát, aminek során elektromos úton mesterségesen vastagítják az oxidréteget a fizikai hatásoktól való megóvás érdekében. Az alumínium vegyületei nem mérgezőek [2], így

környezettudatosan tudja újrahasznosítani az ipar. Tág határok között javítható a szilárdsága, igaz, hogy ez a tisztaságától is függhet.

3.2. Az alumínium felhasználása az iparban

A kis sűrűség, a jó korrózióállóság, a jó felületi minőség, valamint a megfelelő mechanikai tulajdonságok mind hozzájárulnak ahhoz, hogy az alumínium olyan alapanyag legyen, amit bárhol és bármikor hasznosíthat az emberiség. Az elektronikai iparban jól alkalmazható, mivel kis ellenállás mellett vezeti a elektromos áramot. Nem mágnesezhető, így az épületeken belül és kívül is felhasználható. A meleg és hideg hengerelt lemezeket felhasználási lehetőségeik alapján olyan iparágak használják, mint például: járműipar, elektrotechnikai ipar, építészet, vagy a csomagolóipar. A járműgyártásban az energiahatékonyság jegyében a tömegcsökkentés a fő szempont, a legtöbb jármű (legyen az földi, vagy légi jármű) már alumínium vázzal rendelkezik, amelyek olyan gyártási folyamatokon mennek keresztül, hogy biztosítva legyen az ellenállósága az anyagnak.



2. ábra Ipari célú alumínium elemek

Az építőiparban először az 1920-as években alkalmazták, bár ekkor még csak díszítőelemként, 1930-ban tört be az igazi építészetbe, amikor az Empire State Building épületének szerkezetében alkalmazták.

Azóta egyre elterjedtebb, mint burkolatelem és vázszerkezeti anyag, festetlenül vagy festett formában láthatjuk (2. ábra). Manapság az alumíniumot energiahatékony és fenntartható építőanyagként ismerik el, a tervezők és kivitelezők előszeretettel használják fel.

3.3. A festett alumínium lemez

A festett alumínium lemezeket (3. ábra) jelenleg nagy százalékban az építőipar hasznosítja, különösen ott, ahol fontos a megfelelő esztétikai kinézet, főleg ha ezek a

lemezek burkolat elemként vannak hasznosítva. A legtöbb vállalat a porfestés technológiáját alkalmazza a lemezein.

A porfestés folyamata úgy kezdődik, hogy a lemezeket mossák, tisztítják, zsírtalanítják és passziválják. Ha e négy feltétel egyike nem teljesül, akkor a porfestés nem tökéletes, így a lemezünk nem alkalmas esztétikai szerepét betölteni, ráadásul nincs meg a megfelelő ellenálló képessége a természeti hatások ellen. A porfestést több tényező is befolyásolja, attól függően, hogy milyen végeredményt akarunk elérni. Ezek lehetnek színekódok, rétegvastagság, felhasználás, fényesség, struktúra, felfogatási pontok helye és száma, valamint egyéb minőségi követelmények.



3. ábra Festett alumínium lemezek

A színréteg elkészítése a következő módon zajlik: porszóró berendezéssel elektrosztatikusan feltöltött színezett műanyagpor-alapú festéket fújnak, és a föld potenciállal rendelkező lemez magához vonzza a festéket. Mivel szabvány írja elő, hogy egy lemez milyen alapozást és festéket kell, hogy kapjon, ahhoz mérten miképpen tölti majd be szerepét, ezért lehet a festék egyrétegű vagy többrétegű. A porfestés befejezésével a lemezeket kemencébe vagy szárítókamrába helyezik, attól függően, hogy a festékünk ráolvasztással vagy száradással tapad meg a felületen. A festési technológia előnyei közé tartozik a tartós felületi eredmény és a kialakított bevonat ellenálló képessége az UV-sugárzással, az időjárással és a korrózióval szemben. Az elkészült lemezeket akkreditált laboratóriumokban vizsgálják, keménységvizsgálatot, korrózió- és mechanikai vizsgálatokat, szín- és festék vizsgálatokat végeznek el rajta.

Ha a festett alumínium lemez megfelel a követelményeknek, amelyekben a leírtak alapján több szempontot is megvizsgálunk, akkor betöltheti felhasználási helyét.

Az építőiparban egyre gyakrabban alkalmazzák a festett alumínium lemezeket, egészen a kis méreteken át a nagy lemeztábláig, melyekkel nem csak díszítenek, hanem az épület

vázfelépítésében is szerepet játszanak. Ezek előállításánál ügyelnünk kell arra, hogy ne sérüljön a festett felület, mert az sokszor nem javítható, ezért az egész lemezt le kell cserélni. Amikor homlokburkolatként használjuk, azt is figyelembe kell vennünk, hogy a fedőréteg az anyagából adódóan ne tükrözze vissza túl nagy mértékben a napfényt, mivel az esztétikailag problémákat okozhat, ilyenkor “mattítjuk” a felületet.

3.4. Kötéstechnológiák az alumínium esetén

Maga a kötéstechnológia az ipar számára egy fontos lépés, mivel ez adja meg a későbbiekben azt a szerkezetet és küllemet, amit a tervezés során a készítő kialakítottak, ezért a gyártási folyamat részét képezi a megfelelő kötéstechnológia kiválasztása is. A kötés meg kell feleljen a különböző mechanikai előírásoknak, ki kell bírnia a rá ható terhelő erőket és stabilnak kell maradnia. Meg kell határozni azt is, hogy maga a kötés oldható vagy oldhatatlan legyen, mivel vannak olyan elemek, amelyeket későbbiekben más helyekre kell áthelyezni, ezért gazdaságosabb olyan kötéstechnológiát alkalmazni, amit könnyebben szét lehet bontani.

Az alumínium elemek kötésére különböző módokat ismerünk, ezek közül a leggyakoribbak a hegesztés, a forrasztás és a ragasztás.

Forrasztás: A forrasztás a hegesztéshez hasonlóan fémek között oldhatatlan kötést képez. Ez egy diffúziós kötés, ami a hegesztéssel ellentétben az alapanyagok megolvadása nélkül hozható létre. Előnye, hogy a készre munkált alkatrészeket lényeges alakváltozás nélkül köti össze. A forrasztás mindig az alapanyagtól különböző, kisebb olvadáspontú anyaggal (forraszanyaggal) történik. Forrasztáskor a fém felülete tiszta kell, hogy legyen, nem szabad olyan szennyeződések tartalmaznia, amely a fémes kötés kialakulását akadályozza. Az alumínium esetében azért nem egy jó választás ez, mivel a fém könnyen oxidálódik és a felületén stabil oxidréteget képez, ami nagyban csökkenti a tartós kötés kialakulását. [3]

Hegesztés: A hegesztés szintén fém alkatrészek oldhatatlan kötással való illesztésére szolgál. Ez a kötéstechnológia már évtizedek óta elterjedt és nagy alkalmazási területtel bír. Hegesztéskor a fémek atomjait összetartó kötőerők hő hatására ideiglenesen megszűnnek, majd a felületek összeolvadnak, végül pedig a hűtés hatására a fémes kötések újra kialakulnak. Kohéziós kapcsolatokról beszélhetünk, aminek a minőségét hozaganyag beolvasztásával javíthatjuk. Létezik ömlesztő-, és sajtolóhegesztés, ezeken felül dörzshegesztés is alkalmazott a fémeknél. A szinalumínium mind ömlesztő, mind sajtolóhegesztéssel kiváló kötést képez (4. ábra), viszont figyelni kell, hogy egy

meghatározott hőmérsékleten (660 °C körül) ömlik, illetve dermed. Mivel jó a hővezető képessége, nagyobb hőbevitelre van szükség a folyamat során.



4. ábra Hegesztett alumínium alkatrész

Ragasztás: A ragasztás olyan kötéstehnológia, amely a szilárd testek között tartós kötést hoz létre anélkül, hogy az összekötött anyagok szerkezeti felépítése vagy eredeti tulajdonságai lényegesen megváltoznának. A ragasztót leggyakrabban folyékony állapotban viszik fel a felületre, erre azért van szükség, mivel ebben az állapotban nedvesíti a ragasztandó felületet és tapad rá. A ragasztás a fémfelület és a ragasztó között létrejövő adhézió és a ragasztó molekulák közötti kohéziós erőn alapul. A ragasztó megkötése során vagy vízvesztés hatására keményedik ki a ragasztó, vagy a légkörből elnyelt oxigén, víz és szén-dioxid hatására jönnek létre fizikai térhálók, amely által fixálódnak a molekulák. [4]

Az alumínium ragasztása során figyelembe kell vennünk, hogy a felület színtelen vagy színezett, mivel a kétféle felületet különböző módon kell előkészíteni a ragasztáshoz.

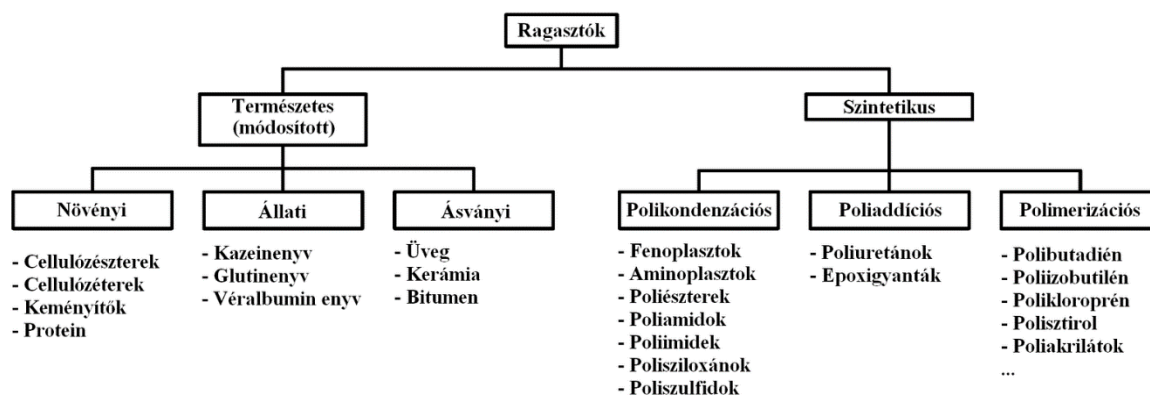
Ma már a ragasztóanyag-gyártók különböző csoportokba sorolják a ragasztóanyagokat annak megfelelően, hogy milyen felületeknél szeretnék hasznosítani egy adott terméket. Legjobb, ha többféle ragasztóanyagot is beépítünk egy gyártási folyamatba olyan szempontból, hogy ha az egyik esetlegesen nem ad megfelelő minőséget, akkor tudjuk pótolni egy másikkal, mely esetleg alkalmasabb a feladathoz. A gyártók leírással segítik a cégeket, amelyek pontosan leírják a kötés kialakítását és ehhez nem csak ragasztóanyagot, hanem segédanyagokat, mint például tisztítószerket és primereket is biztosítanak.

A járműiparban előszeretettel alkalmazzák a ragasztást, mint kötéstechológiát felületek összekötésére és a ragasztó, mint tömítőanyag is kitűnően megállja a helyét. Ez a kötéstechológia nagymértékben hozzásegíti az ipart, hogy a nehezen hozzáférhető helyeken is létre tudjanak hozni kapcsolatot az anyagok között. Az építőipar számára a ragasztás a jövőt képezi a homlokzatburkolati elemek rögzítési folyamatában, mivel esztétikailag szép és mutatós.

4. Ragasztók

A ragasztók olyan anyagok, amelyek a szilárd testek között tartós kötést hoznak létre anélkül, hogy az összekötött anyagok tulajdonságait lényegesen megváltoztatnák. Használatuk során két lényeges lépésben valósul meg a felületek összekötése. Először a ragasztó egyenletes rétegben a felületre kerül, ilyenkor a nedvesíthetőségtől függő adhéziós erő alakul ki, mely gyakorlatilag molekuláris szintű tapadást jelent a másodrendű kölcsönhatásokon keresztül a ragasztó és a felület között. A ragasztó megszáradása, megkeményedése után a ragasztó tömbfázisában kialakul a kohéziós (összetartó) erő, amely a térhálósodás miatt igen erős is lehet.

Eredetük szerint lehetnek természetes eredetűek, illetve mesterségesen előállíthatók, ezeket az 5. ábra foglalja össze.



5. ábra A ragasztók típusai

4.1. Természetes eredetű ragasztók

4.1.1. Növényi és állati eredetű természetes ragasztók

A ragasztók alapanyagai a növény-, illetve állatvilág építőanyagai vagy termékei. A növényvilágban több faj is képes olyan anyagokat vagy terméseket hozni, amelyek fizikai és kémiai átalakítással ragasztásra alkalmas anyagokká válnak. A cellulóz önmagában nem alkalmas ragasztástechnikai felhasználásra, viszont a cellulóz különböző észterei önmagukban vagy gyantával kombinálva alkalmasak lakkok, filmek, ragasztók készítéséhez. A növényi keményítőből vizes főzéssel csiriz nyerhető és ragasztóként alkalmazható, viszont ezek a kötések gyengék és nedvességre érzékenyek. A kaucsuklatex, vizes alapú latexragasztóként nedves felületen is használható. Állati eredetű ragasztóanyag továbbá az enyv, ezek vízzoldható fehérjék, melyek por alakban kerülnek forgalomba és

vízzel keverve lehet feldolgozni őket. Magas gyanta és olaj tartalmú fákból is nyerhetők ki ragasztására alkalmas vegyületek.

4.1.2. Ásványi eredetű ragasztók

Lehetnek szervesek és szervetlenek is, melyeknek szűkkörű a felhasználásuk, de nagy fontosságú anyagok. Az üvegömlédekből készült ragasztókat hő-, és tűzálló fémkötésekhez alkalmazták, viszont manapság a kerámiaragasztókat - amik az üvegnél általánosabban használhatók - hőálló kötések kialakítására használjuk. Legismertebb a vízüveg (a nátrium-szilikát) vizes oldata, amely ragasztó kezdeti tapadóképesége kicsi, ezért illesztés után a kötés kialakulásáig megfelelő nyomást kell alkalmazni.

4.2. Szintetikus ragasztók

Polikondenzációs ragasztók: ezen ragasztók alapanyaga a poliészter gyanta, ami egy térhálósodási folyamat során éri el a megfelelő szilárdságot. Legnagyobb felhasználási területük a szálerősített rendszerek előállítása, lakkipari felhasználásuk is jelentős, üvegszál-vázaz anyagok, fémek és fa ragasztására alkalmazzák. Szobahőmérsékleten térhálósodik és kémiai ellenálló képessége kiváló. Gyakran alkalmazunk szilikongyanta ragasztót is, mely melegén vagy hidegen térhálósodik alapszerkezetétől függően.

Poliaddíciós ragasztók: ebben a csoportban a poliuretán alapú ragasztókról [5] beszélünk, melyeket széleskörűen használják, mivel a tulajdonságaik igen kedvezőek. Fa-, fém-, gumi- és műanyag iparban használják előszeretettel. A poliuretánkötések rugalmasak, ellenállnak a víznek, olajnak, zsíroknak és oldószereknek. Jellegzetességük, hogy hőre keményedő anyagok, emiatt több előnyük is van, például felületaktívak, jó adhéziós tulajdonságokkal bír, kohéziós szilárdságuk igen jó, valamint zsugorodásuk kicsi. Jól módosíthatók más polimerekkel, kétkomponensű ragasztóként is ismertek. Leggyakrabban a légkörből megkötött vízpára indukálja a térhálósodási folyamatot, mely a ragasztóban levő izocianát csoportokkal reakcióba lépve hozza létre a térhálót összetartó uretánkötések.

Polimerizációs ragasztók: itt az alapanyagunk a polisztirol, amely széles körben elterjedt anyag. Oldatát elsősorban a vele hasonló összetételű anyagok ragasztására használják. A folyamat során ügyelni kell arra, hogy a ragasztó oldhatja a vele összeragasztandó anyagot, emiatt az elhomályosodhat, vagy akár repedések is keletkezhetnek rajta. Polisztirolon, PVC-n és polietilénen szokták alkalmazni. Ha a benzol peroxidos keverékét szobahőmérsékleten hagyjuk állni, akkor rövid időn belül polimerizálódik, ilyenkor oldószeres ragasztókról beszélünk. [6]

4.3. A ragasztók alkalmazása

Attól függően, hogy a háztartásban vagy az iparban akarjuk felhasználni, több használati módja ismert. A háztartásokban egészen kis mennyiség szokott előfordulni, míg az iparban igen nagymértékű a felhasználás. Kis mennyiségeknél tubusokat alkalmaznak, és kialakításuk könnyűvé teszi a gyors használatra és egyszerű felvitelre. Számtalan olyan csomagolással találkozhatunk, melyek kialakítása könnyűvé teszi a pontos adagolást is. Az iparban sokrétű az adagolási forma, a kézi kinyomó pisztolyokon át egészen a robotokig. A háztartási felhasználású ragasztókkal szemben itt a kiserelések nem 50 ml környékiek, hanem már elérik akár literes mértéket is. Attól függően, hogy mivel adagoljuk a ragasztót - kézi vagy gépi adagolás (6. ábra) - döntjük el, hogy milyen kiserelési nagyságot kell alkalmaznunk. A ragasztópisztolyba tubusban kerül a ragasztó, a robotok csőrendszeren keresztül juttatják a felületre. Mindkét esetben ügyelni kell az adagolás mértékére, mivel a ragasztóanyag általában drága, illetve nagy mennyiségben esztétikailag ronthatja a késztermék minőségét, túl kevés mennyiségben pedig nem elég tartós a kialakított kötés.



6. ábra Ragasztóadagoló robotok

5. Felhasznált anyagok és technológiák

5.1. Festett alumínium lemezek és L-profilok

Az Alukonstrukt kft. adta az alapanyag festett alumínium lemezt a munkám megkezdéséhez, mely egy külföldi beszállítótól érkezik a céghez. A lemeztábla szürke színű és 2 mm vastagságú.

A beszállító által érkező lemez az Alucobond A2 néven tartják nyilván. A homlokburkolati lemez egyik felét, mely az emberek számára látható lesz, porfestéssel fedik, a másik felén, - tehát amire a ragasztó fog kerülni- temperáló eljárást végeznek és így színezik a felületet. A festett lemez jó ellenálló képességű és nem éghető. A beszállító nagyon ügyel arra, hogy a lemezeket megfelelő védelemmel lássa el, így a magyarországi céghez több rétegnyi fóliába csomagolva érkeznek, ahol szakszerű kicsomagolás után helyezik be a CNC vezérelt vágógépbe, hogy megkapja a méreteit, amivel a későbbiekben dolgozik a vállalat. A Neumann János Egyetemre már méretre vágott lemeztáblák érkeztek. Munkám során lemezvágó olló segítségével vágtam ki a kísérletekhez a megfelelő méretű próbatesteket.

Az "ASTM D1002" szabvány ad egy ajánlást a ragasztott kötések vizsgálatához viszont ez csak keretet ad hozzá, a pontos geometriák változhatnak. Így az Instron mérőgép tulajdonságaihoz igazodva kétféle méretet határoztam meg munkám során a lemez próbatestekhez. A kisebb méretűek (ezek mérete 75x25 mm volt) a felületi energia meghatározására szolgáló cseppentési kísérletek végrehajtásához lettek levágva. A nagyobb méretűeket a későbbiekben a ragasztott minták elkészítéséhez használtam (ezek mérete 112x25 mm volt). A nyíró igénybevétel vizsgálatához két darab ilyen próbatestet ragasztottam össze, ezek 12,5 mm hosszúságban voltak átlapolva. A húzó igénybevétel vizsgálatához használtam még L-profilokat, melyek szintén 2 mm vastagságúak voltak, ehhez a vizsgálatához egy darab L-profil és egy darab nagyméretű lemez próbatestet ragasztottam össze. Az L-profil festetlen alumíniumból készült, mivel az Alukonstrukt Kft.-nél is ilyen módon alkalmazzák. A ragasztott felület nagysága minden vizsgálat esetén 25x12,5 mm volt.

5.2. Tisztítás és zsírtalanítás

A felület megfelelő tisztasága elengedhetetlen már akkor is, ha magára a sima alumíniumra szeretnénk felvinni a festékréteget. A szennyeződések nem mindig láthatóak szabad szemmel ezért ügyelnünk kell rá, hogy a tisztítást a lehető legjobb módon elvégezzük.

Általában valamilyen alkoholt alkalmaznak erre a célra, a legegyszerűbb esetben metanolt [7]. A metanol színtelen, jellegzetes szagú, kis viszkozitású folyadék halmazállapotú telített alkohol (CH_3OH). Vannak gyári alkoholtartalmú vegyületek is, amiket alkalmazunk, itt viszont a különböző gyártmányok eltérnek egymástól és mivel festett lemezzel dolgozunk, ezért többségük nem alkalmazható tisztításra. A festékekkel reakcióba lépve könnyen sértheti a felületet, ha nem az előírt módon és mennyiségben visszük fel.

A másik lehetséges mód a lemezek tisztítására a benzin. A benzint nyers természetes kőolajból nyerik ki, desztillálás során. Az alkoholhoz hasonlóan ez is színtelen folyadék, melynek szaga jellegzetes. Vízzel gyakorlatilag nem elegyedik a polaritásbeli nagy eltérés miatt. Orvosi tisztaságú változatát, a sebbenzt (Benzinum medicinale) alkalmazhatjuk, mint lemeztisztítót.

A mi konkrét esetünkben a metanolos tisztítást tartottuk a legalkalmasabbnak, mivel a vízzel korlátlanul elegyedik, illetve a festékréteget sem oldja fel. A könnyű párolgásának köszönhetően pedig gyorsan megszárad a felület.

5.3. Primer és ragasztó

A primer általában egy ragasztó híg oldata szerves oldószerben feloldva. Az oldatot a tapadóelemre viszik fel, és egy 0,0015-0,05 mm vastagságú, megszáradt filmetréteget hoznak létre. Legfontosabb funkciói a következők:

- Javítja a nedvesítést és védi a ragasztandó felületet az oxidációtól, így jobb minőségű lesz a tapadás. A ragasztó a primerhez tapad, nem pedig a felületi oxidréteghez, ezáltal korróziógátló hatásúak.
- Módosítják a ragasztó tulajdonságait, hogy javítsák bizonyos jellemzőiket, például a lehúzódot.
- Védőbevonatként szolgálnak a ragasztó és az adhézios anyag közötti kedvezőtlen reakciók megelőzésére, de emellett megtartja a tapadást (esetleg javítja is azt) mindezt szobahőmérsékleten vagy megemelt hőmérsékleten is.

Az alapozók használata rugalmasabb gyártási ütemezést, az illesztések nagyfokú megbízhatóságát, kevésbé szigorú kikeményedési feltételeket és nagyobb mozgásteret biztosít a ragasztórendszer kiválasztásában. Az alapozók általában nem keményednek ki teljesen a kezdeti alkalmazás során, szobahőmérsékleten száradnak, néhányat pedig 30-60 percig 65,5 °C-on kényszer-száritanak, ekkor alakul ki a végső tartóssága.

5.3.1. Primer

A Sika Primer-207 egy oldószerbázisú fekete alapozó folyadék, ami reagál a nedvességgel és egy vékony filmréteget hoz létre, valamint összeköttetést képez az alapfelület és felhasznált ragasztó között. A Sika Primer-207 a Sika egykomponensű poliuretán rendszerekkel ragasztandó felületek előkészítésére lett kifejlesztve. Ez az alapozó többféle alapfelületen, előzetes kezelések nélkül is kiváló tapadást biztosít, 8-10 perc alatt megszárad a felületen.

5.3.2. Sikaflex252

Egykomponensű poliuretán ragasztóanyag, amely rugalmas tulajdonságokkal rendelkezik, tehát elasztikusnak mondható. Kifejezetten nagyméretű modulok és elemek konstrukciós ragasztásához lett fejlesztve. A ragasztó alap felületeken jól tapad és dinamikus terhelést is elbír. Az általam használt ragasztó színe fehér, de fekete és szürke színben is megvásárolható. Nedvességre térhálósodik és 10-35°C-on felhasználható. Mivel a levegő nedvességtartalmára reagál és köt meg, így ha alacsony a hőmérséklet, akkor a reakció lassul. Ez a ragasztó azért jó választás a burkolóelemek összeillesztésére, mivel ellenállóbb a vízzel, híg savakkal és lúgokkal szemben. A felület ragasztásához kézi kinyomó pisztolyt alkalmaztunk, melybe a 7. ábrán látható csomagolású ragasztót töltöttük. A többlet anyagot spatula segítségével távolítottam el a felületről.



7. ábra A Sikaflex-252 ragasztó

5.3.3. Távtartó ragasztó

Nagyon széles körben használják fel, szerelési segédanyagként, rögzítésként, tömítésként és illesztésekben két anyag típus csatlakoztatásához alkalmazzák. Előszeretettel használják, mivel nagyon simulékony és kiváló alakvisszanyerő, valamint jó a hőálló képessége. Több vastagságban is elérhető, én a 3 mm-es SikaTack Panel Fixing Tape használtam fel, melyet tekercs formájában kaptunk, a sáv szélessége 12 mm volt. Számomra

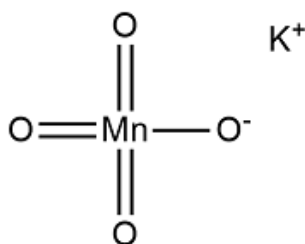
a ragasztott alumínium lemez és L-profil összekötésében, illetve lemez és lemez kötésében játszott szerepet.

5.4. Kémiai felületkezelési eljárások

A kémia felületkezelés során több szempontot is vizsgálnunk kell ahhoz, hogy a végeredmény teljes mértékben megfeleljen az általunk vizsgálni kívánt felületnek és feltételeknek. Először megvizsgáljuk a kémiai anyaggal kezelni kívánt felületet. Itt a festett alumínium lemez volt a kiinduló pontunk, a festék összetételét a gyártó által kiadott leírás alapján tudtuk beazonosítani. Mivel ez a felületkezelés igen sokrétű, ezért nem mindegy milyen vegyületekkel dolgozunk [8],[9]. A kémiai felületkezelési módszerek eltávolíthatják az oxidokat és feltárhatják a végső mikroszerkezetet anélkül, hogy károsítanák a vizsgált felületet, viszont ha gyárilag festett a felület, akkor nagymértékű felületi elváltozás történhet. Jelen esetben a savas és lúgos közeg is ronthatja, a festék minősége viszont segíthet a ragasztáshoz szükséges megfelelő felület nedvesítésének elérésében. Viszont ha a felületünk el is színeződik, mint az általunk használt kálium-permanganát esetén, attól függetlenül érdemes a vizsgálatokat elvégezni a felületen, mert a ragasztott lemez alkalmazása során előfordulhat, hogy esztétikai célokat nem kell ellátnia. Ha a festék leválik a felületről, tehát a sav vagy lúg leoldja, akkor már nem megfelelő a szempontoknak, mivel a nyersanyagot vizsgálnánk és nem a festett felületet.

5.4.1. Kálium-permanganát a felületmódosításhoz

A kálium-permanganát (kémiai szerkezete a 8. ábrán látható) szobahőmérsékleten szilárd halmazállapotú, lila színű, kristályos, ionrácsos vegyület, vizes oldata pedig intenzív céklavörös színnel.



8. ábra A kálium permanganát szerkezete

Egy igen közismert tulajdonsága, hogy erősen savas közegben erélyes oxidálószer, a reakció során vízzé és mangánionokká alakul át. Maga a kálium-permanganát fertőtlenítőszerként ismert az egészségügyben, de a műszaki világban is számos területen

kísérleteznek vele [10]. A lemezmintáimat megfelelő zsírtalanítás után belemártásos módszerrel vizsgáltam, hogy milyen hatást fejt ki rá e vegyület. A vizsgálatok folyamán más és más időintervallumok megszabásával kísérleteztem illetve az oldatok töménységet is változtattam. A kálium-permanganát oldatból miután kiemeltem a lemezeket metanolos tisztítást végeztem.

5.5. Oldatok a ragasztott kötések vizsgálatához környezetállósági kérdésben

A ragasztott kötések környezetállóságának vizsgálatát a következő, hétköznapi körülményeket szimuláló négy oldattal végeztem el:

5.5.1. *Ecetsav-nátrium-acetát pufferoldat*

Az ecetsav (más néven etánsav) szerves vegyület, képlete CH_3COOH . Könnyen felismerhető, mert ez adja az ecet savanyú ízét és átható szagát. Fontos kémiai reagens és ipari nyersanyag az ragasztó gyártásban is használják. A nátrium-acetátot, mint savanyúságot szabályozó anyagot alkalmazzák az élelmiszeriparban. A két oldat keveréke egy úgynevezett pufferoldat, aminek az összetételét pontosan beállítva egy adott (számítható) pH értékű oldat fog létrejönni, melynek pH-ja jelentősebb mennyiségű erős sav, vagy lúg jelenlétében sem változik meg túlzottan.

5.5.2. *Nátrium-karbonát*

A szénsav nátriumsója, képlete Na_2CO_3 . Standardállapotban szilárd, fehér, higroszkópos, kristályos por. Vízen kitűnően oldódik, vizes oldata lúgos kémhatású. Lúgosítóanyagként használják az iparban, a hétköznapi életben pedig a penészgátlásra alkalmazzák.

5.5.3. *Konyhasó oldat*

A nátrium-klorid (NaCl) szintelen, szagtalan, kristályos vegyület, íze erősen sós. Vízen jól oldódik, miközben nagymértékben disszociál összetevőire: pozitív töltésű hidratált nátrium- (Na^+) és negatív töltésű hidratált klorid- (Cl^-) ionokra, vizes oldata semleges kémhatású. Fontos kémiai alapanyag, főként nátrium-hidroxid elektrolitikus előállítására alkalmazzák, mely fontos vegyipari alapanyag. Ilyenkor melléktermékként hidrogén és klórgáz keletkezik, előbbi az energiaszektorban, utóbbit a PVC gyártásában használjuk.

5.5.4. *Domestos*

A mindennapokban elterjedten használt tisztítószer, melynek fő összetevője a nátrium-hipoklorit, köznapin nevének hypo. Ez egy sószerű vegyület, amely vízben oldva

hipoklorit-ionokat tesz szabaddá, ezek egy bizonyos idő után elbomlanak klorid-ionra és egy oxigén-gyökre, ami a nagy reakcióképességének köszönhetően antibakteriális hatást fejt ki.

5.6. Gázlángolás

A fémlemezek gyártási folyamata során, a felületen olyan üzemi maradványok maradhatnak, mint az olajok, zsírok vagy más szennyező anyagok, a lángkezelés zsírtalanítja és/vagy megtisztítja a felületet a szennyező anyagoktól [11], előkészítve ezzel a további bevonatolás vagy ragasztás előtt. Ez elősegíti a tapadást és hozzájárul a bevonat, illetve ragasztás tartósságához. Egy másik szennyeződés, amely a felületen előfordulhat, az amorf oxidréteg, amely a hengerlés után a levegőben lévő oxigén és a nedvesség kémiai reakciójának eredményeként alakul ki. Az izzítási folyamat során ez az oxid képezi a gátat, amely vastagabbá válik mind az oxidrétegen keresztül történő fokozott oxigéndiffúzió, mind az alumínium hő hatására bekövetkező kémiai reakciója következtében. Az izzítás hője elősegíti a vízvesztést és a tömörebb oxidot, lényegében egy gátló réteget hozva létre az alumínium tetején. További előnye ennek az eljárásnak, hogy a segítségével javítható a lemez felületi energiája, így ragasztás során magasabb minőségűek lehetnek az adhéziós kötések.

A tavalyi munkám során ez volt az a felületkezelési eljárás, ami által a legjobb eredményt értem el a nedvesíthetőség növelése terén a festett alumínium lemez felületén. Idén is ez volt az egyik felületkezelési eljárás, amit alkalmaztam, a segítségével állítottam elő próbatesteket a további környezetállósági vizsgálataimhoz, melynek paramétereit a tavalyi legjobb eredményemből nyertem ki. A láng felületkezelést ABB típusú robot, illetve PB gázpalack és Bunsen-égő segítségével végeztem (9. ábra).



9. ábra Lángolási vizsgálathoz használt ABB robot

Első lépésben a robotot programoztuk a megfelelő mozgási pálya elvégzésére, utána pedig a gázpalackot a Bunsen-égőhöz kötöttük és beállítottuk a láng paramétereit. Az égő beállítása során a levegő mennyiségét szabályzó szelepet elzártam, így tiszta gázáramot kaptam. A robot fejét többféle távolságban mozgattam a láng felett. A fejre erősített segédeszközzel, melyre a lemezt felfogattam elértem, hogy csak a lemez egy részét érje a hőhatás, így a statikus nedvesítés folyamán pontos eredményeket tudtam kapni és mivel a lemez egyik oldala maximum kézmeleg vagy hideg volt, így át tudtuk helyezni a nedvesítési méréshez szükséges munkaállomásra. Nem csak a magasságot, hanem a lemezmozgatás sebességét is több érték esetén megvizsgáltam, így a lemezt kevesebb vagy több ideig érte a hőhatás.

5.7. A nedvesítés statikus mérési módszere

A nyugvó csepp módszere a nedvesítés vizsgálatának formája. A mérőszobában 18-20 °C között mozgott a hőmérséklet. A berendezéshez tartozik egy tárgyasztal, egy mikropipetta és egy nagyfelbontású kamera (10. ábra szerinti elrendezésben).



10. ábra A peremszög mérőállomás

Miután elvégeztem egy adott felületmódosítást, a lemezt a kezelt felülettel felfelé a tárgyasztalra helyeztem, mikropipetta segítségével pedig felszívtam 5 μ l desztillált vizet. A pipettatartóba behelyeztem a pipettát és óvatos kézmozdulattal kinyomtam a vízcseppet a pipetta hegyére és a lemezt hozzá érintve lecseppentettem a felületre. Ezt a folyamatot nem csak desztillált vízzel, hanem etilén-glikollal is végrehajtottam. Miután a felületet lecseppentettem az egyik folyadékkal, képet készítettem a cseppről, majd fűltisztító pálcá segítségével felszívtam a folyadékot és csak azután ismételt meg a műveletet az etilén-glikollal is. Nagyon ügyelni kellett arra, hogy a víz és az etilén-glikol nem kerülhetett ugyanarra a helyre, mert akkor helytelen információt kapunk. Miután a cseppünk a lemezre került a fényképezőgép segítségével fotót készítettem a csepp alakjáról a próbatesten. A képet többszörös nagyításban csináltam, ezért nagyon fontos volt, hogy figyeljek rá, nehogy elhomályosodjon. Miután a képek elkészültek, a számítógépre importáltam a fotókat és egy erre alkalmas program segítségével lemértem a cseppek peremszögét.

5.8. A ragasztott kötések mechanikai vizsgálata

A ragasztások kötési erejét az Instron 4482-es univerzális anyagvizsgáló berendezéssel végeztem (11. ábra), mely alkalmas húzó, nyíró és kompressziós igénybevételek kifejtésére, valamint a szilárdsági és képlékenységi jellemzők meghatározására is. Mivel a berendezés rendelkezik egy klímakamrával, így a vizsgálati hőmérsékletek tág határok között mozoghatnak, a -60°C-tól, egészen a +250°C-ig. A maximálisan kifejthető erő 100 kN, illetve a maximális keresztfej-sebesség 500 mm/perc. Vezérlése kétféle módon történhet, a

gép saját paneljéről vagy számítógépről. A kísérleteim során a próbatestekre ható nyíró és húzó igénybevétel során fellépő maximális erő meghatározására használtam.



11. ábra Az Instron 4482 univerzális anyagvizsgáló berendezés

6. Tavalyi kísérleteim releváns eredményei

Idén egy már meglévő kísérleti sorozat eredményei voltak az alapok. Azért fontos a tavalyi eredményeket is összefoglalnom, mivel ezekkel hasonlítottam össze az idei munkám végeredményeit. A tavalyi kísérlettervből sokat merítettem az idei vizsgálatokhoz, a 12. ábrán látható táblázathoz hasonlókat idén is készítettünk, csak más paraméterekkel.

6.1. A gázlánggal való kísérlet eredményei

A tavalyi kísérletsorozatban a legjobb eredményt adó módszer a gázlángolás volt. A lemezeket az ABB-robot fejére erősített tartóállványra csíptettem fel. 80-tól 150 mm távolságban állítottuk be a mérési tartományt. (80 mm alatt a láng nagyon kormozta a lemezt, így az nem felelt volna meg a ragasztási követelményeknek. Ha a maximum magassági érték fölé vittük a távolságot, akkor pedig a lemezt nem érte el a láng.) A lemezmozgatás sebességét 5 és 50 cm/perc közötti értékekre állítottuk be. A nedvesítés mérését a kezelés után végeztem el.

		Mozgás sebessége (cm/perc)											
		5	8	9	10	11	12	15	17	20	25	30	50
Bunzenegőtől való távolság (mm)	150				25,1							30,9	26,0
	130				41,3							28,5	28,6
	120				44,5							24,5	33,7
	110				40,2							39,5	33,7
	105		62,1	59,0	76,6	51,3	37,2	52,8	74,0	72,8	39,7	40,0	
	100	56,9	64,2	61,8	64,5	73,0	73,5	77,3	76,7	66,7	69,5		36,1
	95		66,4	73,6	67,9	64,2	58,4	65,2	70,5	68,2	56,5		
	91	63,7	62,0	59,2	55,7	66,4	60,0	70,0					
	90	58,5	65,0	61,8	62,7	60,2	67,3	72,5					
	80	52,8		55,4	63,2	64,5		68,7					

12. ábra Különböző lángolási paraméterek melletti eredmények

A 12. ábra alapján jól látható, hogy a magasság és a sebesség viszonya milyen téren befolyásolta a felületi energiát. A legjobb nedvesítési eredményeket 100 mm távolságnál és 15 cm/perc lemezmozgatási sebességnél értük el. A kezelés előtti, gyári lemezen mért teljes felületi energia 27,4 mN/m értéket mutatott, viszont a lánggal történő kezelés hatására ez az érték megnövekedett, egészen 78 mN/m-re.

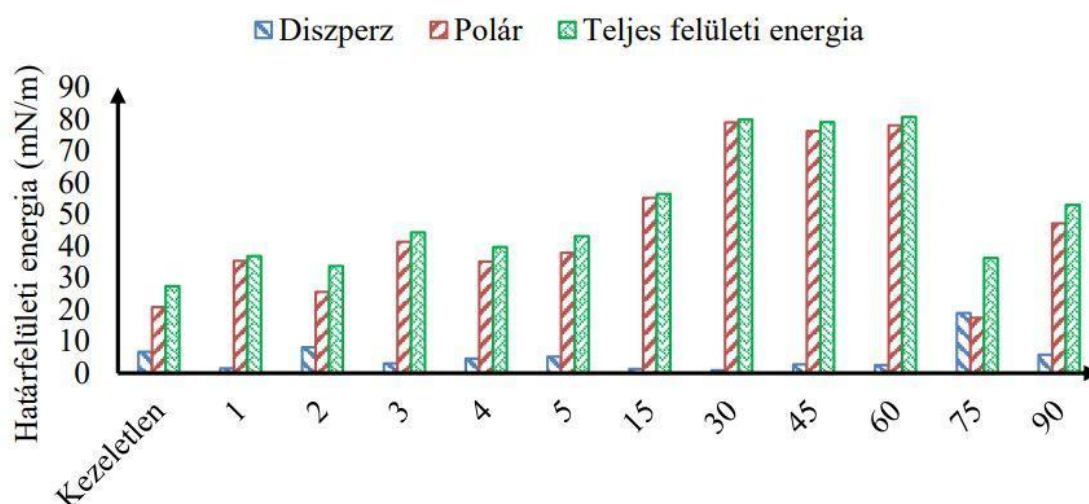
Miután megállapítottuk a kezeléshez tartozó legjobb paramétereket, következett a ragasztás. A Sikaflex 252 egykomponensű poliuretán ragasztót alkalmaztam a Sikaflex primmerrel együtt. Kétféle vizsgálati próbatest minta alapján dolgoztam, az egyik a nyíráshoz, a másik a húzáshoz készült. A húzásra készült próbatest ragasztott felületét metanollal tisztítottuk a ragasztás előtt.

A ragasztott próbatestek 2 héten át 20 °C-on térhálósodtak ki és ez után történtek a vizsgálatok nyírásra és húzásra.

Az eredmények végül azt mutatták, hogy a ragasztott kötések mindkét esetben, több mint 400 N terhelő erőt bírtak ki, mielőtt kohéziósan tönkrementek.

6.2. Kálium-permanganáttal kezelt felület tavalai eredményei

A kálium-permanganát felületkezelés is igen jó eredményeket hozott, viszont, mivel a felületünk elszíneződött, nem folytattam további kísérleteket, csak egy adott koncentrációjú oldattal hajtottam végre a mérést. A nedvesíthetőség mérésénél a szögek értéke csökkent, a felületi energia pedig megnövekedett (13. ábra), ami számomra biztató eredményt mutatott.



13. ábra A kálium-permanganáttal kezelt minták felületi energiája (x-tengelyen a lemezmozgatás sebessége van feltüntetve cm/perc egységben)

A 13. ábrán jól látható, hogy a 30, 45 és 60 perces állás után a teljes felületi energia megnőtt, majdnem 80 mN/m értékig. Viszont 60 percen túl a felületi energia értéke már nagymértékben visszaesett és szinte a kezeletlen formáját kezdte felvenni. Végigkövetve az ábrát láthatjuk, hogy a diszperz érték teljes mértékben lecsökkent, míg a polár és a teljes felületi energia növekedett, ami a jó nedvesítés elérésének biztos jele.

7. Kutatási munka a kálium-permanganáttal

7.1. A kísérlet előkészületei

A kísérlet megkezdése előtt két fontos előkészítést kellett elvégeznem, a lemezek tisztítását illetve az 5 különböző kálium-permanganát oldat (14. ábra) elkészítését. A lemezeket metanollal tisztítottam és zsírtalanítottam. Az előkészített mintákat szétosztottam, hogy minden egyes permanganát oldathoz 12 lemez tartozzon, mivel később a kísérlet elvégzésekor az időintervallumhoz igazodott a próbatestek száma. Összesen 60 percen keresztül voltak bemerítve a minták, melyekből 5 percenként emeltem ki egy-egy próbatestet.



14. ábra A kálium-permanganát oldata

A kálium-permanganát készítése során szükségem volt a szilárd halmazállapotú vegyszerre, amelynek tömegét egy analitikai mérleg segítségével mértem meg. Ez a berendezés egy nagyon érzékeny, tömegméréskor tízezred gramm pontosságú értéket mutat. Szükségem volt egy főzőpohárra, amibe vegyszereskanál segítségével mértem ki a kristályos anyagot. Az oldatokat 250 cm³ befogatú mérőlombikba készítettem el, tölcsér segítségével a permanganátot a lombikba töltöttem, majd desztillált vízzel feloldottam és a lombik nyakán lévő jelig töltve oldatot készítettem.

A tavalyi évben 0,05 mol/dm³ koncentrációjú oldatot alkalmaztam, viszont idén szerettem volna ezt a kísérletet jobban kibővíteni, így döntöttem amellett, hogy fenti oldaton

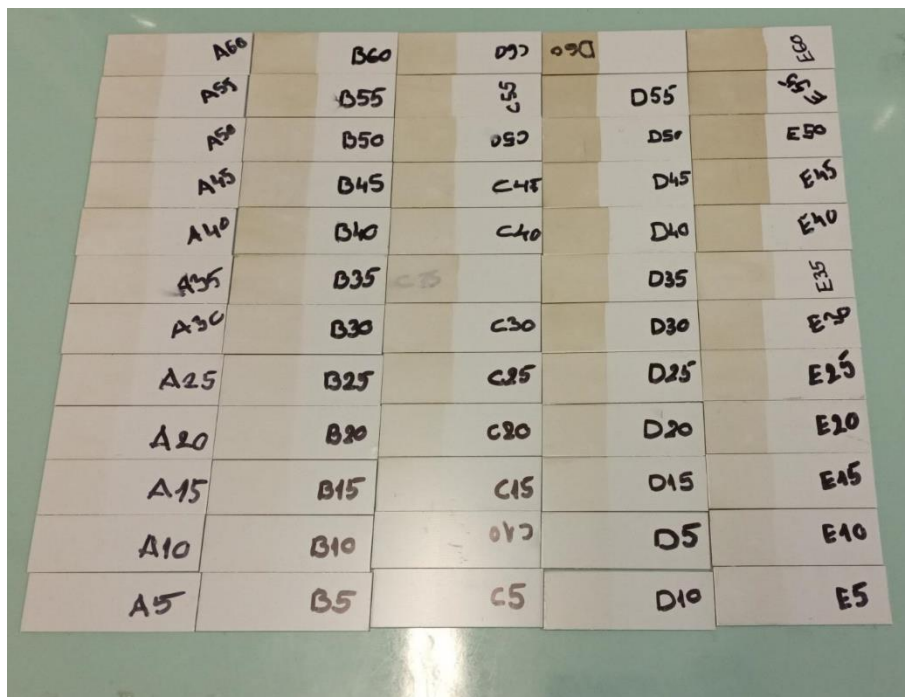
kívül még 4 másik oldatot is alkalmazok. Ezek közül kettő kisebb, kettő pedig nagyobb koncentrációban készült el, tehát így alakult az oldatok összetétele:

- Első oldat (“A” jelölés): 1,2 g KMnO_4 koncentrációja: $0,03 \text{ mol/dm}^3$
- Második oldat (“B” jelölés): 1,6 g KMnO_4 , koncentrációja $0,04 \text{ mol/dm}^3$
- Harmadik oldat (“C” jelölés): 2 g KMnO_4 , koncentrációja $0,05 \text{ mol/dm}^3$
- Negyedik oldat (“D” jelölés): 2,4 g KMnO_4 , koncentrációja $0,06 \text{ mol/dm}^3$
- Ötödik oldat (“E” jelölés): 2,8 g KMnO_4 , koncentrációja $0,07 \text{ mol/dm}^3$

Minden oldat pár csepp tömény (96%-os) kénsav hozzáadásával készült el, erre azért volt szükség, mert a permanganátionok savas közegben képesek oxidálni más anyagokat hatékonyan és mellékreakciók nélkül.

7.2. A kísérlet végrehajtása

Egy jó minőségű műanyag pohárba nagyjából 50 ml kálium-permanganát oldatot töltöttem és ebbe helyeztem bele a festett alumínium lemezeket. A bemártások mindegyikénél azt tapasztaltam, hogy a felületen szemmel látható elszíneződés jelenik meg, amit feltehetően a mangán-dioxid jelenléte okoz, amely ilyenkor kivált a festett felületre. Az elszíneződés mértéke a koncentráció és az eltelt idő növekedésével erősödött. A 15. ábrán az A-E jelölések a növekvő koncentrációt, míg a szám a bemártás alatt eltelt időt jelenti percben.



15. ábra A bemártás utáni lemezek

7.3. Eredményeim a kálium-permanganát oldattal való kísérletben

Az első - kontroll - lemezt kezelés nélkül mértem le a nedvesítés statikus mérési módszerével. Ebben az esetben a felületi energia értéke 33,53 mN/m volt. Ezután következett az összesen 60 darab kezelt lemez mérése, melyeket a fentebb említett időzítések betartásával mártottam az ötféle koncentrációjú oldatba.

	t[min]											
c[M]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0,03	33,08	35,98	37,75	36,62	30,59	25,81	37,09	36,01	36,43	37,52	36,96	24,59
0,04	48,3	47,44	30,53	40,9	45,35	41,07	40,92	66,16	33,18	43,52	31,65	36,79
0,05	45,21	34,58	43,31	30,42	52,95	37,15	44,26	37,89	39,85	52,95	41,03	38,44
0,06	32,92	34,21	31,05	34,97	42,12	39,29	41,82	55,07	37,11	42,75	55,96	71,58
0,07	46,12	48,44	32,62	52,74	33,74	30,2	37,43	38,89	40,69	44,12	40,27	26,41

16. ábra A felületi energia értékei a permanganát oldat koncentrációja és az eltelt idő függvényében

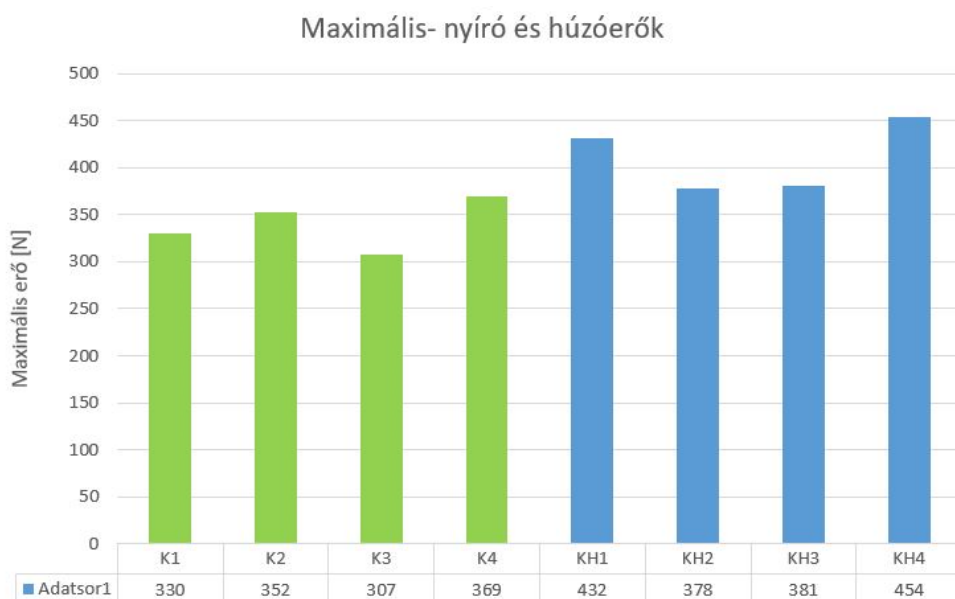
A 16. ábrán szereplő értékeket a Fowkes-képlet (17. ábra) segítségével [12] állapítottuk meg. Itt meg kell határozni a szilárd, illetve folyadék diszperz és polár komponens értékét és azok segítségével megkapjuk a teljes felületi energiát.

$$(\sigma_L^D)^{1/2} (\sigma_S^D)^{1/2} + (\sigma_L^P)^{1/2} (\sigma_S^P)^{1/2} = \frac{\sigma_L (\cos \theta + 1)}{2}$$

17. ábra A Fowkes-képlet a felületi energia meghatározására

A táblázatunk alapján megállapítható, hogy a felületkezelési eljárás milyen hatással volt a nedvesítésre. A kiindulási 33,53 mN/m-hez képest a legnagyobb növekedés a 0,06 mol/dm³ koncentrációjú oldatban 60 percig álló lemez esetén következett be, ez az érték 71,58 mN/m volt. Ezzel az eredménnyel dolgoztam tovább tehát a ragasztás elvégzése során.

Újra elkészítettem tehát a 0,06 mol/dm³ koncentrációjú oldatot, mivel ezen oldattal kezelt lemez eredménye volt a legjobb mérési eredmény és 60 perc áztatás után metanollal tisztítottam, majd elkészítettem a ragasztott mintákat. A ragasztott próbatestek 2 hétig 20 °C hőmérsékletű helységben térhálósodtak, majd szakítóvizsgálatot végeztünk rajtuk mind a nyíró, mind a szakító igénybevétel vizsgálatához. Ezek során a 18. ábrán látható eredményeket kaptuk.



18. ábra A nyírt és húzott mintákra ható maximális erőhatás

A „K” jelölésű mintáinkat nyíró igénybevételnek tettük ki, míg a „KH” jelölésűek húzó igénybevételt szenvedtek el.

A diagram alapján jó látható hogy húzás esetén a legkevesebb erő, amit kibírt a ragasztás a kálium-permanganátos felületen, az 378 N erő volt a húzott minták esetén. Viszont mindegyik ragasztási próbatesten adhéziós tönkremenetel mutatkozott, ami azt jelenti, hogy a ragasztó levált az alumínium felületéről. A tavalyi eredményeimet összehasonlítva ezekkel az eredményekkel arra a következtetésre jutottam, hogy azok a ragasztási technológiák, amelyeket a Sikaflex 252 ragasztóval ragasztottam mindegyik minta esetén a minimális erő 400 N felett volt és kohéziós volt a tönkremenetel.

A nyírt mintáknál már más volt a helyzet, itt a maximális érték sem érte el a 400 N erőt és így mondhatom azt, hogy a tavalyi többi mintával összehasonlítva sokkal gyengébb a kálium-permanganátos ragasztott felület, mint a lánggal, alkohollal és primerrel kezelt felület. A múlt évi ragasztott minták minimum értéke mind 400 N felett volt, bár ezekben az esetekben is adhéziós tönkremenetel történt.

8. A környezetállóság vizsgálata

8.1. A vizsgálat célja

Az iparban minőségügyi szempontból fontos a környezetállóság vizsgálata egyes termékeknél. Itt legtöbbször mesterséges körülmények között hozzák létre azt a közeget, amiben tesztelést folytatnak, de van, hogy a természetben kísérleteznek. Az anyagválasztás attól függően történik, hogy milyen környezeti feltételt akarunk elérni és milyen kémia anyagok, kellenek ezek megvalósítására. Természetesen a fizikai előkészületek is fontosak, mert azok is befolyásolják a mérési eredményeket. Azért van szükség ilyen vizsgálatok elvégzésére, mivel így megkapjuk a szükséges adatokat, amivel a termék leírásában már láthatóvá válik, hogy megfelelő lenne-e egy adott alkalmazási területhez.

A festett alumínium lemezeket a cég főként homlokzatburkoló elemként használ, ezért a környezeti hatásoknak ki van téve maga a felület, de főként a ragasztott kötés. Itt azért fontosak a ragasztás vizsgálatai, mivel a tavalyi eredményeim által láthatóvá válik az, hogy egy kémiai oldat hogyan hat a ragasztott kötések erősségére.

Maga a Sika, mint gyártó is végzett kísérleteket a ragasztón, ami számunkra támpontot adott, hogy milyen irányba kezdjük el a ragasztott kötés vizsgálatát. Ők magán a Sikaflex 252 ragasztón végeztek kísérletet, a legrövidebb idő, amíg a különböző anyagok hatással voltak a ragasztóra 7 nap, azaz egy hét volt. A ragasztott mintákra is ez az időintervallum vonatkozott munkám során.

8.2. A vizsgálati körülmények létrehozása

Négy különböző oldat mellett döntöttem, ami a környezeti hatásokat szimulálják. A leggyakoribb tisztítószer a Domestos, amit én is felhasználtam. Egy üveg főzőpohárba, kevertem össze a desztillált vízzel abban az arányban, amit a gyártó feltüntetett, így 4 cm^3 Domestos került 1 liter vízbe. Lúgos hatás elérését nátrium-karbonát oldattal értük el, 10 g szilárd, vízmentes anyag került szintén 1 liter desztillált vízbe. A lúgos közeg a Domestosnál is jelen van, viszont a nátrium-karbonát egy másik lúgos anyag, amely a háztartásokban előfordulhat, kristálysóda néven. Ennek a pH értéke a számítások alapján 11,6. A savas oldatunkkal a magyarországi savas eső körülményeit próbáltam szimulálni, ennek pH-ja szakirodalom alapján 4,6. Ezen pH eléréséhez 1 g 100%-os ecetsavból és 1,339 g nátrium-acetátból készítettem egy liter pufferoldatot. A nátrium-klorid oldatunk sótartalma pedig a tengervízével azonos, 3,5 tömegszázalékos.

Minden oldatba 4 különböző technológiával ragasztott mintát helyeztem. A ragasztóréteg egy festett alumínium lemez és egy L-profil között volt, a ragasztást az alábbi technológiák alapján végeztem:

- Alukonstrukt kft. technológiája: a festett alumínium lemezre a Sika primert felkentem, ráhelyeztem a Sika által gyártott távtartót, valamint Sikaflex 252 ragasztót 3,5 mm vastagságban és rá a szintén Sika primerrel lekent L profilt.
- Kálium-permanganáttal kezelt lemez: A legjobb eredményt adó kémiai felületkezeléssel újból lekezeltem 4 darab lemezt. Erre nem került primer, csak távtartó és Sikaflex 252-es ragasztó, majd szintén egy olyan L profil, amely volt kezelve Sika primerrel.
- Az alkohollal tisztított lemez: itt egy alkoholos tisztítás után helyeztem el a távtartókat a festett lemez felületén és a ragasztás után került a felületre az L-profil ugyanúgy primerrel kezelt állapotban.
- Lángolt felület: a tavalyi mérési eredmények alapján kezeltük a felületünket lánggal és ezután következett a ragasztás, aminek folyamata ugyanúgy zajlott, mint az előző kettő ragasztás esetén ugyanolyan anyagok felhasználásával.

8.3. A vizsgálatok végrehajtása és a minták mechanikai vizsgálata

A ragasztott kötések 2 hétig adott hőmérsékletű laborban térhálósodtak. Az oldatokat és a bennük lévő mintáimat egy-egy nagy méretű laboratóriumi főzőpohárba helyeztem, a tetejét parafilm-réteggel fedtem be, melyet egy tűvel több helyen kilyukasztottam (19. ábra).



19. ábra A környezetállósági vizsgálat

Ez az esetleges gázfejlődés miatt volt szükséges, illetve azért, hogy a mintákba ne jusson szennyeződés. Ezután egy héten keresztül áztak a minták az oldatokban és napi szinten megmozgattam a főzőpoharakat. Az első 2 napban a nátrium-karbonát oldat és az acetát pufferoldat esetén is tapasztalható volt némi gázfejlődés, ami a továbbiakban megszűnt. Az adott idő elteltével a mintákat gumikesztyű segítségével kiemeltem az oldatból és metanollal tisztítottam őket (20. ábra), ezután következett a szakítóvizsgálat.

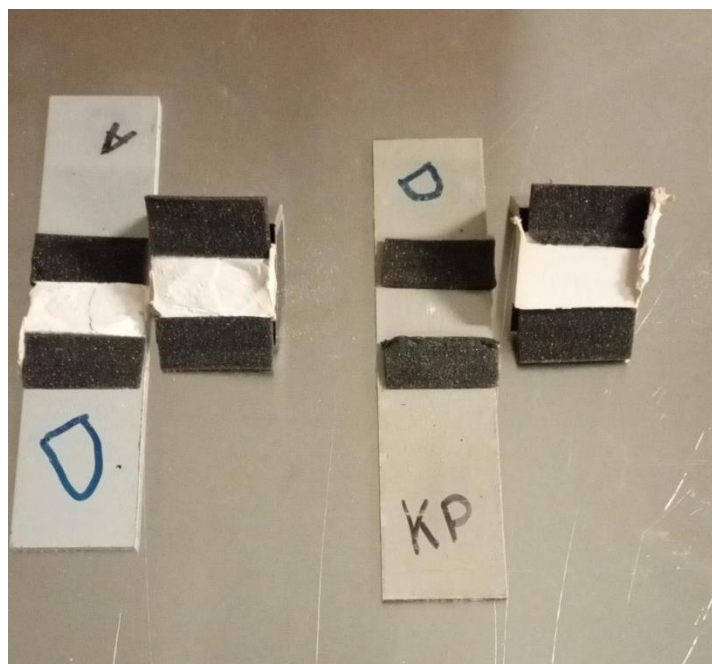
A 20. ábra alapján látható, hogy a minták milyen erőt tudtak elviselni, mielőtt még elszakadtak volna. A legtöbb minta kohéziós tönkremenetelt szenvedett el, de volt, amelyik adhéziósan szakadt, a ragasztó egyszerűen elvált a felülettől.

Anyagok	Lángolás	Sika technológia	Kálium-permanganát	Alkohol
Domestos	423	472	356	455
Na ₂ CO ₃	445	470	346	475
NaCl	494	417	366	342
Acetát puffer	251	489	401	444

20. ábra A környezetállósági tesztek eredményei

A kálium-permanganáttal kezelt felületeken a ragasztó nem állt megfelelően ellen a különböző oldatoknak, így ebből azt tudom levonni következtetésképp, hogy hiába tudunk elérni ezzel a kémiai anyaggal jó felületi energia értékeket, nem lesz megfelelő a ragasztásra. A többi ragasztott mintánál azokat az értékeket vettem alapul, melyeket akkor mértem mielőtt még a környezeti vizsgálat megtörtént volna. Itt az látható eredményül, hogy a lánggal kezelt felület is meg tudja állni a helyét a környezeti hatásokkal szemben, kivéve akkor ha savas közegben alkalmazzuk. A másik a három esetben a tavalyi eredményhez képest jobban teljesített, hisz ott átlagosan 420 N terhelést bírt ki a ragasztás, idén ez a sóoldatba mártott mintánál 494 N-ig emelkedett. Az Alukonstrukt kft. által használt Sikaflex technológia szintén jól megállta a helyét a környezeti teszten. A tavalyi eredményeimmel összehasonlítva azt látom, hogy az idei eredmények minimálisan térnek el a tavalyi átlageredményhez képest, ami 460 N erő volt, ez idén az acetát pufferben 489 N lett. Egyedül a NaCl oldatba merített ragasztott kötés eredménye volt alacsonyabb a tavalyinál. Az alkohollal tisztított lemezek sajnos nem érték el azt az átlag ellenállást, melyre előzetesen számítottam. Itt az a ragasztott kötés, amely környezeti hatásoknak nem lett kitéve, átlagosan 510 N erőt bírt, így ha környezeti hatás éri a ragasztást, ami ezzel a technológiával van

ragasztva, akkor könnyebben elengedhet a ragasztott kötés. Az adhéziós és kohéziós tönkremenetelre látható egy példa a 21. ábrán.



21. ábra Példa adhéziós (bal oldalon) és kohéziós (jobb oldalon) tönkremenetelre

A 23. ábrán foglaltuk össze a húzott mintákat, ahol kohéziós tönkremenetel történt „K” jelöléssel, míg az adhéziós tönkremenetelt „A” jelöléssel láttuk el.

Anyagok	Lángolás	Sika technológia	Kálium-permanganát	Alkohol
Domestos	K	K	A	K
Na ₂ CO ₃	K	K	A	K
NaCl	K	K	A	K
Acetát puffer	A	K	A	K

22. ábra A tesztek során bekövetkező szakadás típusai

Az ábra alapján egyértelműbben látszik, amit korábban is említettem, miszerint a kálium-permanganáttal kezelt festett alumínium felület nem alkalmas a Sikaflex 252-vel való ragasztásra.

9. Összefoglalás

Munkám során a tavalyi dolgozatomban elvégzett kísérleteimet és méréseimet egészítettem ki kerek egészszé. A festett alumínium lemezek ragasztásának vizsgálati sorát idén a kémiai felületkezeléssel és a környezetállóság vizsgálatával folytattam. Az idei munkám első fázisában a lemezek felületének módosítását hajtottam végre savas közegű kálium-permanganát oldat segítségével, ezen oldatok koncentrációja $0,03\text{--}0,07\text{ mol/dm}^3$ -ig változott. A méretre vágott lemezeimet 5 perces időközökkel vettem ki az oldatokból, a bemártást egy óras időtartamban végeztem. Az 5 perc tökéletesen elég volt a képek elkészítéséhez, amelyekből később a peremszögeket, majd a felületi energiákat is meghatároztam. A paramétereink ebben az esetben a koncentráció és az idő voltak. Ezek alapján a legjobb eredményt a felületi energiára a $0,06\text{ mol/dm}^3$ -es oldatban 60 percig áztatással kaptuk. Ilyen paraméterek mellett előkészített próbatesteken húzó és nyíró igénybevételt mértünk szakítóvizsgálattal, húzás esetén 378 és 454 N nyírás esetén 307 és 369 N közötti értékeket mértünk. Mindkét esetben adhéziós tönkremenetel ment végbe, ami messze alulmúlta a várakozásaimat.

Munkám második felében 4 különböző felületkezelési/előkészítési módszert hasonlítottam össze 4 különböző körülményt szimuláló oldatba mártás után szintén ragasztott lemezeken. A 4 módszer a lángolás, a metanolos tisztítás, a permanganáttal való kezelés és a ragasztó gyártója által javasolt kezelés voltak. A 4 körülményünk a savas esőhöz hasonlító ecetsav-acetát pufferoldat, a Domestos oldata, a konyhasóoldat – melynek töménysége a tengervízával egyezik meg – és a nátrium-karbonát vizes oldatai voltak.

A teszt során a kálium-permanganátos felületkezelés ismét rosszul teljesített, minden esetben adhéziós tönkremenetel ment végbe, az ehhez szükséges erők pedig 401 N, vagy az alatt voltak. A Sika gyártó által javasolt technika valóban jól teljesített, viszont a lángolás és az egyszerű alkoholos tisztítás sem maradt el mögötte. Mindezek alapján azt a következtetést vontam le, hogy nem feltétlenül muszáj a drágább felület előkészítést választanunk a ragasztáshoz, mivel az olcsóbb módszerek (lángolás, alkoholos tisztítás) is megállják a helyüket.

Dolgozatom lezárásként annyit mindenképpen megállapíthatunk, hogy a tavalyi biztató eredményekkel ellentétben a kálium-permanganát – az általam választott módszerek mellett legalábbis – nem váltotta be a hozzá fűzött reményeimet.

Köszönetnyilvánítás

Számomra nagy előrelépést jelentett, hogy az idén ismét lehetőségem volt egy kutatási munka elvégzésére és ismét tanulhattam új dolgokat a felületkezelési technológiák és a környezetállóság tudományában. A kérdés már nagyból megválaszolt, vajon létezik-e tökéletes felületkezelés és ragasztás páros, de még nem tökéletes a válasz.

Elsősorban a Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatika kar, Innovatív Járművek és Anyagok tanszékének munkatársainak szeretném megköszönni, akik végigkísérték a kutatási munkámat. Főként Palásti Ferenc és Tajti Ferenc témavezetőimnek a kitartó munkát és segítséget. Nélkülük nem jött volna létre ez a dolgozat.

Palásti Ferenc útmutatásával és odaadó tanítása által megismertem a kémia anyagok szerkezetét és működését, Tajti Ferenc pedig kitartó munkájával segítette a munkám minden olyan lépését mely a hozzájárult a gyakorlati eredmények megszületéséhez.

Köszönöm Dr. Berczeli Miklós adjunktusnak, az elméleti és gyakorlati előtűdás átadását mellyel idén már sokkal könnyebben tudtam venni az akadályokat

Köszönöm Hansághy Pál mérnökűtanárnak a szakító vizsgálatokban nyűjtott szakmai segítséget.

Köszönöm Kovács Péter tanszéki mérnöknek, a ragasztási kísérletek során nyűjtott kitartó segítségét.

Prof. Dr. Belina Károly, Professor Emeritus, egyetemi tanárnak, az elméleti síkon folyó munkálatok állandó felűgyelését és hasznos tanácsait.

Köszönettel tartozom barátaimnak, akik támogatóan az egész folyamat alatt mellettem álltak és tanácsokkal láttak el.

Végűl, de nem utolsó sorban köszönetemet szeretném kifejezni, annak a két embernek, akik nélkül most nem állhatnék itt, akik felneveltek, kísérték utamon és végig segítették az eddigi fejlődésemet. Édesanyámnak és Édesapámnak, akiknek mai napig hálás vagyok az értem tett mindennemű cselekedeteiért.

Irodalomjegyzék

- [1] Robert A. Yokel, Bengt Sjögren, Chapter 1 - Aluminum, Editor(s): Gunnar F. Nordberg, Max Costa, Handbook on the Toxicology of Metals (Fifth Edition), Academic Press, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822946-0.00001-5>.
- [2] Exley C. Human exposure to aluminium. Environ Sci Process Impacts. 2013 Oct;15(10):1807-1816. doi: 10.1039/c3em00374d. PMID: 23982047.
- [3] Somayeh Gheybi Hashemabad, Zhiyong Gu, Teiichi Ando, Flux-less direct soldering of aluminum by ultrasonic surface activation, Journal of Materials Processing Technology, Volume 233, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.02.015>.
- [4] Bernd R. Burchardt, Peter W. Merz, Chapter 6 - Elastic Bonding and Sealing in Industry, Editor(s): Philippe Cognard, Handbook of Adhesives and Sealants, Elsevier Science Ltd, Volume 2, 2006, [https://doi.org/10.1016/S1874-5695\(06\)80017-5](https://doi.org/10.1016/S1874-5695(06)80017-5).
- [5] Bernd Burchardt, 3 - Advances in polyurethane structural adhesives, Editor(s): David A. Dillard, In Woodhead Publishing in Materials, Advances in Structural Adhesive Bonding, Woodhead Publishing, 2010, <https://doi.org/10.1533/9781845698058.1.35>.
- [6] Manjinder Singh, Sachin Kadian, Gaurav Manik, Polymers in Adhesive Applications, Editor(s): M.S.J. Hashmi, Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers, Elsevier, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00124-3>.
- [7] S.A Sardar, J.A Syed, K Tanaka, F.P Netzer, M.G Ramsey, The aluminium–alcohol interface: Methanol on clean Al(111) surface, Surface Science, Volume 519, Issue 3, 2002, [https://doi.org/10.1016/S0039-6028\(02\)02213-6](https://doi.org/10.1016/S0039-6028(02)02213-6).
- [8] K H Yau *et al* 2019 *J. Phys.: Conf. Ser.* **1150** 012057, DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1150/1/012057>
- [9] Rezayat, M.; Karamimoghadam, M.; Moradi, M.; Casalino, G.; Roa Rovira, J.J.; Mateo, A. Overview of Surface Modification Strategies for Improving the Properties of Metastable Austenitic Stainless Steels. *Metals* 2023, 13, 1268. <https://doi.org/10.3390/met13071268>
- [10] Seyed Mehdi Orouji, Reza Naderi, Mohammad Mahdavian, Controlled oxidation of mild steel by potassium permanganate solution to enhance protective functioning of silane coatings, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 603, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125251>.
- [11] Mohamed Ezzat, Constantin Aniculaesei, Joong Wook Lee, Seong Ku Lee, Chang Hee Nam: Gas flow effect on the surface modification of aluminum and silver targets irradiated by a nanosecond laser, *Optics & Laser Technology*, Volume 163, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.109427>.
- [12] D.Y. Kwok, D. Li, A.W. Neumann, Fowkes' surface tension component approach revisited, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 89, Issues 2–3, 1994, [https://doi.org/10.1016/0927-7757\(94\)80117-7](https://doi.org/10.1016/0927-7757(94)80117-7).

Ábrajegyzék

1. ábra Az alumínium.....	6
2. ábra Ipari célú alumínium elemek.....	7
3. ábra Festett alumínium lemezek	8
4. ábra Hegesztett alumínium alkatrész	10
5. ábra A ragasztók típusai.....	12
6. ábra Ragasztóadagoló robotok.....	14
7. ábra A Sikaflex-252 ragasztó.....	17
8. ábra A kálium permanganát szerkezete	18
9. ábra Lángolási vizsgálatához használt ABB robot	21
10. ábra A peremszög mérőállomás.....	22
11. ábra Az Instron 4482 univerzális anyagvizsgáló berendezés	23
12. ábra Különböző lángolási paraméterek melletti eredmények.....	24
13. ábra A kálium-permanganáttal kezelt minták felületi energiája (x-tengelyen a lemezmozgatás sebessége van feltüntetve cm/perc egységben).....	25
14. ábra A kálium-permanganát oldata	26
15. ábra A bemártás utáni lemezek	27
16. ábra A felületi energia értékei a permanganát oldat koncentrációja és az eltelt idő függvényében.....	28
17. ábra A Fowkes-képlet a felületi energia meghatározására.....	28
18. ábra A nyírt és húzott mintákra ható maximális erőhatás.....	29
19. ábra A környezetállósági vizsgálat	31
20. ábra A környezetállósági tesztek eredményei.....	32
21. ábra Példa adhéziós (bal oldalon) és kohéziós (jobb oldalon) tönkremenetelre	33
22. ábra A tesztek során bekövetkező szakadás típusai	33