



Neumann János Egyetem
GAMF Műszaki és Informatikai Kar
Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék

**Alumínium ötvözetek ragasztástechnológiájának
fejlesztése, különböző mechanikai, kémiai és
lézersugaras felületkezelési eljárásokkal.**

Tudományos Diákköri Konferencia Dolgozat

Szerző:

Körömi Benjámín Márk

III. Évfolyamos járműmérnök hallgató

Témavezető:

Dr. Berczeli Miklós

Adjunktus

Kecskemét

2022

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	4
2. IRODALOMI ÁTTEKINTŐ	5
2.1. AZ ALUMÍNIUM LEGFŐBB JELLEMZŐI.....	5
2.2. AZ ALUMÍNIUM FELÜLETÉNEK OXIDRÉTEGE	5
2.3. ALUMÍNIUM JELENTŐSÉGE AZ IPARBAN.....	6
2.3.1. Az alumínium jelentősége a gépjárműiparban.....	7
2.3.2. Az alumínium jelentősége a hajóiparban	7
2.3.3. Az alumínium jelentősége a repülőgép iparban	8
2.3.4. Az alumínium jelentősége más iparágakban	8
2.4. AZ ALUMÍNIUM ÖTVÖZETEK.....	9
2.5. KÖTÉSTECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSA A JÁRMŰIPARBAN	9
2.6. RAGASZTÁSTECHNOLÓGIÁK ÁTTEKINTÉSE	10
2.6.1. Ragasztás általános jellemzői	10
2.6.2. A ragasztott kötés előnyei, hátrányai	11
2.7. RAGASZTÁS KÖTÉSI MECHANIZMUSAI	13
2.8. A FELÜLETI ENERGIA MEGHATÁROZÁSA.....	15
2.8.1. A nyugvócsepp módszerrel történő peremszög mérés folyamata	15
2.9. ALUMÍNIUM FELÜLETMÓDOSÍTÁSA	16
2.9.1. Felülettisztítás folyamata	17
2.9.2. Csiszolás folyamata.....	17
2.9.3. Szemcse-, homokszórás folyamata	17
2.9.4. Zsírtalanítás és oxidmentesítés lúgos oldatokban folyamata	18
2.9.5. Forró vízzel történő felületkezelés folyamata.....	18
2.9.6. Lézersugaras felületkezelés folyamata	18
2.9.7. Bevonatképzés oldószerbázisú alapozó folyadékkal (primer) folyamata.....	19
2.10. FELÜLETMÓDOSÍTOTT ALUMÍNIUM RAGASZTÁSA NEMZETKÖZI CIKKEKBEN.....	20
3. A KUTATÁSOM CÉLKITŰZÉSEI.....	23
4. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK, MÓDSZEREK.....	24
4.1. A KUTATÁSHOZ HASZNÁLT ALUMÍNIUM	24
4.2. A KUTATÁSHOZ HASZNÁLT RAGASZTÓANYAG	25
4.3. ALKALMAZOTT FELÜLETKEZELÉSI MÓDSZEREK	26
4.3.1. Kezeletlen felület.....	26
4.3.2. Alkohollal tisztított felület	26
4.3.3. Sika® Primer-207-tel kezelt felület.....	26
4.3.4. DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület.....	26
4.3.5. Fátyollal csiszolt-alkohollal tisztított felület	26
4.3.6. Fátyollal csiszolt-alkohollal tisztított- Sika® Primer-207-tel kezelt felület	27
4.3.7. Homokszórt-alkohollal tisztított felület	27
4.3.8. Homokszórt-alkohollal tisztított-Sika® Primer-207-tel kezelt felület.....	27
4.3.9. Csiszolópapírral csiszolt-alkohollal tisztított felület	27
4.3.10. Csiszolópapírral csiszolt-alkohollal tisztított-Sika® Primer-207-tel kezelt felület	28
4.3.11. Nátrium-hidroxiddal maratott-alkohollal tisztított felület.....	28
4.3.12. Forró ioncserélt vízben kezelt felület	28
4.3.13. Ultrarövid impulzusos femtoszekundumos lézerrendszerrel kezelt felület.....	28
4.3.14. Ultrarövid impulzusos femtoszekundumos lézerrendszerrel-forró ioncserélt vízben kezelt felület	29
4.4. KUTATÁS SORÁN ALKALMAZOTT FELÜLETKEZELÉSI-, VIZSGÁLATI- ESZKÖZÖK, SZABVÁNYOK	29
4.4.1. Rodenstock RM400-P optikai felületi érdesség mérő.....	29
4.4.2. Nyugvócsepp módszeres peremszög mérési rendszer.....	29
4.4.3. ZEISS Axio Imager. M2m fémmikroszkóp	31
4.4.4. Ultrarövid impulzusos femtoszekundumos lézerrendszer	31
4.4.5. INSTRON 5900R 4482 univerzális mechanikai anyagvizsgáló gép	32
4.4.6. ISO 4587 nyíróvizsgálatra, próbatestekre vonatkozó szabvány	32
4.4.7. Húzóvizsgálatra, próbatestekre vonatkozó egyedi kialakítás.....	33
5. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE	35
5.1. FELÜLETI ENERGIA ÉRTÉKEI, MEGVÁLTOZÁSAI.....	35

5.1.1.	<i>Kezeletlen felületű mintadarabok felületi energiájának eredményei</i>	36
5.1.2.	<i>Egyszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának eredményei</i>	37
5.1.3.	<i>Kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi energiájának eredményei</i>	39
5.1.4.	<i>Különböző technológiákkal felületkezelt mintadarabok felületi energiájának időfüggése</i>	40
5.2.	FELÜLETI ÉRDESSÉG MÉRÉSEK EREDMÉNYEI	42
5.2.1.	<i>Kezeletlen felületű mintadarabok felületi érdesség mérésének eredményei</i>	43
5.2.2.	<i>Egyszeresen felületkezelt mintadarabok felületi érdesség mérésének eredményei</i>	44
5.2.3.	<i>Kétszeresen felületkezelt mintadarabok felületi érdesség mérésének eredményei</i>	46
5.3.	MAKROSZKÓPI ÉS MIKROSZKÓPI FELVÉTELEK SZEMLÉLTETÉSE, ELEMZÉSE	48
5.3.1.	<i>Makroszkópi és mikroszkópi felvételek kiértékelése</i>	48
5.1.	RAGASZTOTT KÖTÉSEK HÚZÓSZILÁRDSÁGÁNAK ÉS NYÍRÓSZILÁRDSÁGÁNAK VIZSGÁLATA	52
5.2.	RAGASZTOTT KÖTÉSEK TÖNKREMETELI MÓDJÁNAK BEMUTATÁSA	57
5.2.1.	<i>Kezeletlen felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	57
5.2.2.	<i>Alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	57
		58
5.2.3.	<i>Lézersugárral kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	58
5.2.4.	<i>Fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	58
5.2.5.	<i>Homokszórt, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	59
5.2.6.	<i>Csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	59
5.2.7.	<i>Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	59
5.2.8.	<i>Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	60
5.2.9.	<i>Forró ioncserélt vízben kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	60
5.2.10.	<i>DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	61
5.2.11.	<i>Homokszórt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	61
5.2.12.	<i>Csiszolópapírral csiszolt, Alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	61
5.2.13.	<i>Fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207-tel kezelt felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	62
5.2.14.	<i>Nátrium-hidroxiddal maratott, alkohollal tisztított felületű mintadarabbal elkészített ragasztott kötés tönkremeneteli módja</i>	62
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	63
7.	EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA AZ IRODALOMMAL	64
8.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	65
9.	IRODALOMJEGYZÉK	66
10.	A DOLGOZAT MELLÉKLETEI	70
10.1.	ELSŐ SZÁMÚ MELLÉKLET	70
	<i>A felületi energia meghatározásának módszerei</i>	70
10.2.	MÁSODIK SZÁMÚ MELLÉKLET	73
	<i>A szobahőmérsékletű nyugvócsepp módszeres nedvesítésmérés peremszögeinek értékei</i>	73
10.2.1.	<i>Kezeletlen felületű mintadarabok peremszög mérésének eredményei</i>	74
10.2.2.	<i>Egyszeresen felületkezelt mintadarabok peremszög mérésének eredményei</i>	75
10.2.3.	<i>Kétszeresen felületkezelt mintadarabok peremszög mérésének eredményei</i>	77
10.3.	HARMADIK SZÁMÚ MELLÉKLET	79
	<i>A kutatásom során készített makroszkópos felvételek</i>	79

7. EREDMÉNYEK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA AZ IRODALOMMAL

Ennek a fejezetnek a célja, hogy a kutatásom során, dolgozatban ismertetett eredményeimet összehasonlítsam az irodalomkutatásomban megismert értékekkel. Az irodalomkutatásomban szereplő, feldolgozott nemzetközi cikkek egyikében sem található meg az általam a kísérletekhez használt alumínium ötvözetpárosítás és ragasztóanyag. Továbbá a húzószilárdsági vizsgálatához készített próbatestek összeállításához hasonló szabványt, kutatást sem találtam, valamint eltérés van a különböző felületkezelési technológiák között is.

Rendkívül fontos kiemelni, hogy a kutatásom során feldolgozott nemzetközi kutatásokról készült cikkek egyikében sem tapasztaltam, hogy a kutatók egyszerre elvégezték volna az összes ragasztástechnológiához kapcsolódó mérést. Továbbá a mért eredmények közötti összefüggéseket nem vizsgálták, mutatták be, csak az eredmények ismertetésre került sor.

Kutatásomban, dolgozatomban nemcsak az elért vizsgálati eredményeket ismeretem, hanem lehetőség szerint az összefüggéseket is megvizsgálom, ismeretem. Rendkívül fontos, hogy az elért eredmények közötti összefüggéseket megfejtsük, megismerjük, ugyanis az alumínium ötvözetek ragasztástechnológiájának fejlesztése csak az összefüggések ismeretében fejleszthető vezetőtechnológiává.

Ebből kifolyólag, kutatási eredményeim egyedinek számítanak, más kutatási eredményekkel nem összevethetők.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsősorban és mindennek előtt szeretnék köszönetet mondani a Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai karán az Innovatív Járművek és Anyagok Tanszékének vezetőinek, munkatársainak, hogy biztosították a kutatás elvégzéséhez szükséges helyiségek, eszközök, anyagok, vizsgálati és felületkezelési gépek, illetve a kimagasló mértékű szakértelem meglétét.

Továbbá kiemelten hálás köszönetet mondok konzulensemnek, egyben témavezetőmnek Dr. Berczeli Miklósnak, hogy szakértelmével és tanácsaival nagymértékben hozzájárult a kutatásom, illetve dolgozatom sikeres végkimeneteléhez. Ő volt az, aki a kutatás során minden nehéz, tanácstalan pillanatban támogató személyiségével és hozzáértő szakértelmével segítette utamat a helyes, fontos döntések meghozatalában.

Köszönöm az Innovatív Járművek és Anyagok tanszéken dolgozó Kovács Péter, Tajti Ferenc, és Könyves Zsolt tanszéki mérnökök kitartó munkáját, mellyel segítséget nyújtottak a felületkezelések és a ragasztott próbatestek elkészítésében, illetve hozzájárultak kutatómunkám sikerességéhez, dolgozatom megírásához.

Köszönet illeti még:

Palásti Ferenc tanszéki mérnököt, aki elkészítette és biztosította a felületkezeléseim elkészítéséhez szükséges kémiai maró oldatot, illetve a kémiai felületkezelés elkészítéséhez szükséges segédeszközöket.

Dr. Hlinka Józsefet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépjárműtechnológiai Tanszékének munkatársát, aki segítette és biztosította a kezelt felületek érdesség méréséhez szükséges mérőberendezést és szakértelmet.

Az Alukonstrukt Építőipari Szolgáltató és Kereskedelmi Kft.-t, akik folyamatos utánpótlással biztosították a vizsgálataimhoz és méréseimhez szükséges ragasztóanyagot, illetve alumínium lemezeket.

Köszönettel tartozom továbbá édesanyámnak, édesapámnak és a családom többi tagjának, hogy mindig hatalmas szeretettel, türelemmel, biztatással bántak velem, mely rendkívül nagy támogatást jelentett számomra a tanulmányaim elvégzéséhez, valamint céljaim eléréséhez.

Kiemelt köszöntetet érdemel a párom Kis Katica, aki állandó odafigyelésével, biztatásával, megértésével és szeretetével támogatott a tudományos kutatásom elvégzése és a dolgozatom megírása során.

9. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Miklós Berczeli, Járműipari kötések fejlesztése felületkezelési eljárásokkal, (n.d.). <https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/16958/ertekezes.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (accessed November 7, 2022).
- [2] Járműipari kötéstechológiák - JÁRMŰIPARI KÖTÉSTECHNOLÓGIÁK - MeRSZ, Dr. Weltsch Zoltán. (n.d.). https://mersz.hu/dokumentum/m518jk__1/ (accessed November 7, 2022).
- [3] D. He, V.K. Soo, H.C. Kim, M. Doolan, Life Cycle Primary Energy Demand and Greenhouse Gas Emission benefits of vehicle lightweighting with recycled carbon fibre, *Procedia CIRP*. 98 (2021) 43–48. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2021.01.003>.
- [4] Anyagismeret | Sulinet Tudásbázis, (n.d.). https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/0d0cc85d-f7b5-41fb-aec0-d1b8362c7ebf_e90c4562-46d5-4b3a-a5ed-d640f67b512a_4b689ab8-8562-4513-a0a1-c0536f93bcd_b29b3144-0b25-4edc-bd91-c46946f648ab_bf3bbd7c-10c3-4331-afe4-cd08570fdf19_5399b1ef-cea6-43d0-9073-9cae1006c7a6 (accessed November 7, 2022).
- [5] Járműszerkezeti anyagok. Készítette: Dr. Zsoldos Ibolya, Dr. Hargitai Hajnalka ISBN - PDF Ingyenes letöltés, (n.d.). <https://docplayer.hu/43801371-Jarmuszerkezeti-anyagok-keszitette-dr-zsoldos-ibolya-dr-hargitai-hajnalka-isbn.html> (accessed November 7, 2022).
- [6] Alumínium anódos oxidációja (felületvédelem, eloxálás), (n.d.). <https://kreativlakas.com/feluletkepzesek/aluminium-anodos-oxidacioja/> (accessed December 18, 2022).
- [7] Alumínium és Alumínium-ötvények Felületkezelése és Korrózióvédelme, (n.d.). <https://www.unicorngalvanizalo.hu/index.php/technologiai-leirasok/aluminium-es-aluminium-otvenyek-feluletkezelese-es-korroziovedelme> (accessed December 18, 2022).
- [8] M. Hasegawa, Ellingham Diagram, *Treatise on Process Metallurgy*. 1 (2014) 507–516. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096986-2.00032-1>.
- [9] Ellingham Diagrams (all content), (n.d.). https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ellingham_diagrams/printall.php (accessed November 7, 2022).
- [10] Nagy szilárdságú alumíniumötvözetek a gépjárműipar számára | Techmonitor.hu, (n.d.). <http://www.techmonitor.hu/tudastar/nagy-szilardsagu-aluminiumotvozetek-a-gepjarmuipar-szamara-20190112> (accessed November 7, 2022).
- [11] JÁRMŰIPARBAN ALKALMAZOTT NAGYSZILÁRDSÁGÚ ALUMÍNÍUM ÖTVÖZETEK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE - PDF Ingyenes letöltés, (n.d.).

- <https://docplayer.hu/109937843-Jarmuiparban-alkalmazott-nagyszilardsagu-aluminium-otvozetek-ellenallas-ponthegesztese.html> (accessed November 7, 2022).
- [12] New Audi Space Frame with high proportions of aluminum and CFRP - Audi Technology Portal, (n.d.). <https://www.audi-technology-portal.de/en/body/aluminium-bodies/new-audi-space-frame-with-high-proportions-of-aluminum-and-cfrp> (accessed November 7, 2022).
- [13] HAJÓÉPÍTÉS I, (n.d.).
- [14] Repülőgép alumínium: jellemzők, (n.d.). <https://hu.birmiss.com/repuelogep-aluminium-jellemzok/> (accessed November 7, 2022).
- [15] M U N K A A N Y A G, (n.d.). http://www.metalloglobus.hu/bid46/aluminium_foliak/1 (accessed November 7, 2022).
- [16] Alumíniumötvözetek típusai és feldolgozásuk félfolyamatos öntést követő hengerléssel, (n.d.).
- [17] Safe operations with composite aircraft | Safety First, (n.d.). <https://safetyfirst.airbus.com/safe-operations-with-composite-aircraft/> (accessed November 7, 2022).
- [18] Alumínium az élelmiszerekben és italokban, (n.d.).
- [19] Elektronika, (n.d.). <https://www.hydro.com/hu-HU/aluminium/industries/elektronika/> (accessed November 7, 2022).
- [20] Műszaki alapismeretek | Sulinet Tudásbázis, (n.d.). <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/mezogazdasag/muszaki-alapismeretek/femek/konnyufemek-es-otvozeik-al-mg-ti-felhasznalasa-aluminium-gyartas> (accessed November 7, 2022).
- [21] Az alumínium piaca és alkalmazása az építőiparban - Hírek - Jambo Gear Precision Industry Co., Ltd., (n.d.). <https://hu.jbaluminumextrusion.com/news/market-and-application-of-aluminum-for-constru-48871588.html> (accessed November 7, 2022).
- [22] Építőanyagok | Sulinet Tudásbázis, (n.d.). <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/epiteszet/epitoanyagok/az-aluminium-eloallitasa-tulajdonsagai-az-aluminium-es-otvozeinek-fajtai-felhasznalasi-teruletei/az-aluminium-felhasznalasi-teruletei> (accessed November 7, 2022).
- [23] Hőkezelés hatása az alumínium karosszéria lemezanyagok alakíthatóságára, (n.d.).
- [24] Total Materia - Alumínium specifikációk, (n.d.). <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=AluSpecifications&LN=HU> (accessed November 7, 2022).
- [25] U. Tietge, P. Mock, J. Dornoff, M. Campestri, P. Mock, European vehicle market statistics, Berlin, 2011., (2019). <https://sci-hub.ru/https://trid.trb.org/view/1646773> (accessed November 7, 2022).

- [26] S. Anett, RAGASZTOTT KÖTÉSEK ELLENŐRZÉSE ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA, (n.d.).
- [27] S. Jenő, Javítástechnológia (Károsodás-elmélet), Eredeti Információforrás. (2013). <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/3060> (accessed November 7, 2022).
- [28] LOCTITE® - Henkel Adhesives, (n.d.). <https://www.henkel-adhesives.com/hu/hu/r%C3%B3lunk/m%C3%A1rka%C3%A1nk/loctite.html> (accessed November 7, 2022).
- [29] Gépészeti szakismeretek 1. | Sulinet Tudásbázis, (n.d.). <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/a-ragasztas-technologiaja/a-ragasztas-anyagai> (accessed November 7, 2022).
- [30] I. Márquez, N. Paredes, F. Alarcia, J.I. Velasco, Adhesive Performance of Acrylic Pressure-Sensitive Adhesives from Different Preparation Processes, *Polymers* 2021, Vol. 13, Page 2627. 13 (2021) 2627. <https://doi.org/10.3390/POLYM13162627>.
- [31] A. Zotti, S. Zuppolini, M. Zarrelli, Anna Borriello, A. Zotti, S. Zuppolini, M. Zarrelli, Anna Borriello, Fracture Toughening Mechanisms in Epoxy Adhesives, *Adhesives - Applications and Properties*. (2016). <https://doi.org/10.5772/65250>.
- [32] A. Zotti, S. Zuppolini, M. Zarrelli, Anna Borriello, A. Zotti, S. Zuppolini, M. Zarrelli, Anna Borriello, Fracture Toughening Mechanisms in Epoxy Adhesives, *Adhesives - Applications and Properties*. (2016). <https://doi.org/10.5772/65250>.
- [33] A. Rudawska, E. Jacniacka, Analysis for determining surface free energy uncertainty by the Owen–Wendt method, *Int J Adhes Adhes.* 29 (2009) 451–457. <https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2008.09.008>.
- [34] A. Rudawska, A. Rudawska, Adhesive Properties of Metals and Metal Alloys, *Surface Energy*. (2015). <https://doi.org/10.5772/60599>.
- [35] S. Anett, RAGASZTOTT KÖTÉSEK ELLENŐRZÉSE ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA, (n.d.).
- [36] D. András, Alumínium kézikönyv, (1942).
- [37] -Csiszolás | Prospera Europe, (n.d.). <http://prosperaeu.hu/csiszolas/> (accessed November 7, 2022).
- [38] A. Spaggiari, E. Dragoni, Effect of Mechanical Surface Treatment on the Static Strength of Adhesive Lap Joints, *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00218464.2012.751526*. 89 (2013) 677–696. <https://doi.org/10.1080/00218464.2012.751526>.
- [39] Szemcseszórás, homokszórás, homokfúvás, felülettisztítás!, (n.d.). <https://szemcseszoras-feluletkezeles.hu/> (accessed November 7, 2022).
- [40] K. Leena, K.K. Athira, S. Bhuvaneswari, S. Suraj, V.L. Rao, Effect of surface pre-treatment on surface characteristics and adhesive bond strength of aluminium alloy, *Int*

- J Adhes Adhes. 70 (2016) 265–270.
<https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2016.07.012>.
- [41] Y. Boutar, S. Naïmi, S. Mezlini, M.B.S. Ali, Effect of surface treatment on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joints for automotive applications, *Int J Adhes Adhes.* 67 (2016) 38–43. <https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2015.12.023>.
- [42] S. Correia, V. Anes, L. Reis, Effect of surface treatment on adhesively bonded aluminium-aluminium joints regarding aeronautical structures, *Eng Fail Anal.* 84 (2018) 34–45. <https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2017.10.010>.
- [43] C.V. Ngo, D.M. Chun, Control of laser-ablated aluminum surface wettability to superhydrophobic or superhydrophilic through simple heat treatment or water boiling post-processing, *Appl Surf Sci.* 435 (2018) 974–982.
<https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2017.11.185>.
- [44] Lézeres felületkezelés, bevonatolás - PDF Free Download, (n.d.).
<https://docplayer.hu/6643080-Lezeres-feluletkezeles-bevonatolas.html> (accessed November 7, 2022).
- [45] Az ultrarövid lézersugár-impulzusok néhány speciális hatása, (n.d.).
www.ombkenet.hu (accessed November 7, 2022).
- [46] Z. Lei, Z. Tian, X. Chen, Y. Chen, J. Bi, S. Wu, H. Sun, Large spot diameter nanosecond laser treatment of aluminum alloy sheets for high-speed superhydrophobic hierarchical micro- and nanostructured surface preparation, *Surf Coat Technol.* 361 (2019) 249–254. <https://doi.org/10.1016/J.SURFCOAT.2019.01.020>.
- [47] Sikaflex®-252 Elastic adhesive for vehicle assembly bonding, (n.d.).
- [48] ISO4587_szakítószilárdsági vizsgálatra vonatkozó szabvány, (n.d.).
<http://106.38.59.21:8080/userfiles/33035236294a4fd6ab2b62ace92843cb/files/teckSolution/2020/01/ISO%204587-2003.pdf> (accessed November 7, 2022).
- [49] J.R. Henderson, Statistical mechanics of Cassie’s law, *Mol Phys.* 98 (2000) 677–681.
<https://doi.org/10.1080/00268970009483335>.
- [50] Explore the world of Surface Science | KRÜSS Scientific, (n.d.). <https://www.kruss-scientific.com/en-US> (accessed November 8, 2022).
- [51] S. Siboni, C. della Volpe, D. Maniglio, M. Brugnara, The solid surface free energy calculation: II. The limits of the Zisman and of the “equation-of-state” approaches, *J Colloid Interface Sci.* 271 (2004) 454–472.
<https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2003.09.050>.
- [52] R.J. Good, L.A. Girifalco, A theory for estimation of surface and interfacial energies. III. Estimation of surface energies of solids from contact angle data, *Journal of Physical Chemistry.* 64 (1960) 561–565.
https://doi.org/10.1021/J100834A012/ASSET/J100834A012.FP.PNG_V03.

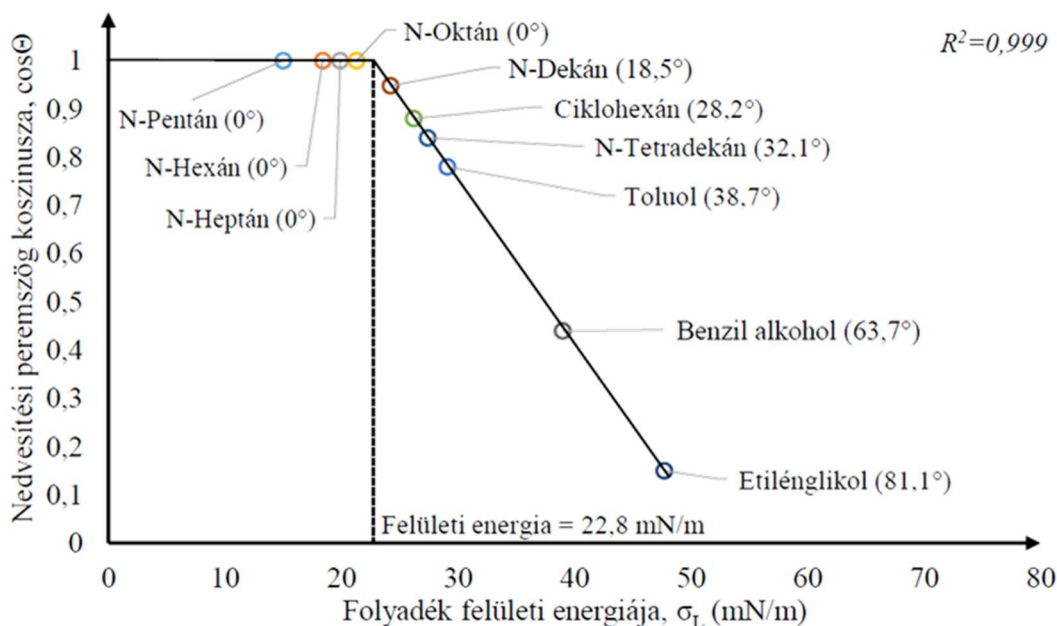
10. A DOLGOZAT MELLÉKLETEI

10.1. Első számú melléklet

A felületi energia meghatározásának módszerei

Egy folyadék felületi energiájának mérése rendkívül egyszerű és egyértelmű, mivel a folyadék felületi energiájának értéke megegyezik az adott folyadék felületi feszültségével. A folyadékok felületi feszültségének megmérésére, meghatározására sok technika létezik. A szilárd testek felületi energiájának meghatározása nehézkes feladat, mivel a felületi energia értéke a csepp és a szilárd test határfelületének érintkezésénél kialakuló peremszög érték mérésével számolható ki. A peremszög értékét befolyásolja az alkalmazni kívánt folyadék választása, a szög értékének megfelelő mérése, a felületi kölcsönhatásoktól, a felületi reakciótól, illetve a felület nedvesítő képességétől. A megfelelő folyadék kiválasztása után sem lehet teljes mértékben pontosan meghatározni a szilárd test felületi energiáját, mivel számos meghatározási módja létezik a felületi energiának. Ebből kifolyólag számos módszer, lehetőség és elmélet létezik a peremszög, felületi energia értékkel alakítására. Mivel a valóságban egyik sem tökéletes, ezért egyiket sem nevezhetjük egyetemes módszernek. A felületi energiaszámítási elméletek, a felületek energiáját két különböző komponensre osztva, a komponenseket külön-külön, vagy ezek összegét határozza meg. Ezeket az összetevőket nevezzük a diszperzív és a poláris komponenseknek. A diszperzív összetevő, a Van der Waals és a nem helyi kölcsönhatásokra vonatkozik. A poláris komponens a dipólus-dipólus, a dipólus indukált dipólus, a hidrogénkötés és egyéb helyi kölcsönhatásokra vonatkoztatjuk. A felületi energiaszámítás elvégzése közben ajánlott a nem poláris felületek esetében nem poláris folyadékokat választani, míg a poláris felületek esetében poláris folyadékokat alkalmazni, illetve az ezekhez megfelelő módszert. Az alábbiakban a legelterjedtebb felületi energia számítási módszereket mutatom be [1, 50, 51].

A Zisman módszer volt az első lényegesebb felületenergia számítási módszer. A Zisman módszer a poláris és diszperzív felületi energia értékek összegét határozza meg, ezért egykomponensű módszernek tekinthető. Teljesen hidrofíll állapotú folyadékot, profilból vizsgálva a folyadék optikán keresztül látható kontúrja teljes mértékben egybeolvad a vizsgálandó felülettel, ezáltal a nyugvócsepp módszerrel mért peremszög értéke 0° . Emiatt arra következtethetünk, hogy a szilárd test felületén a folyadékok felületi energiájának csökkenése a peremszög értékeinek csökkenését eredményezi. Ha különféle folyadékok felületi energiáját egy diagrammon ábrázoljuk, a peremszög értékeik függvényében, Zisman ábrát kapunk (57. ábra) [1, 33, 51, 52].



57. ábra: Zisman diagram egy alacsony sűrűségű polietilén esetében [1]

A Zisman féle felületi energia számítási módszer a nem poláris felületek esetében alkalmazható a legjobban. Amennyiben a felület kis mértékben is, de poláris, akkor a módszer nem alkalmazható. A Zisman módszer, azért nem alkalmazható olyan felületeken, amelynek diszperzív és poláris komponense is van, mert az alkalmazott folyadékok teljes felületi feszültség értékeit veszik figyelembe. Ezáltal figyelmen kívül hagyják, hogy a folyadék poláris és diszperzív felületi komponense, hogyan hoz létre kölcsönhatásokat a különböző anyagok felületén. A Zisman-féle módszert nem szokás alkalmazni, ha a vizsgálat előtt az adott anyagot felületkezelték. Mivel a Zisman módszer által meghatározott felületi energia értékek magas szórást, pontatlanságot mutattak, a módszer továbbfejlesztésre került [1, 51, 52].

Rudawaska és kutatócsapata alumínium felhasználásával vizsgálták az Owens/Wendt felületi energia számítási módszert. Az Owens/Wendt elmélet egy két komponensű módszer, melynek lényege a szilárd test felületi energiájának meghatározása. A módszer a poláris kölcsönhatásokat veszi figyelembe, amelyek a szilárd test felülete és a folyadékok között keletkeznek. Owens/Wendt szétválasztotta a szilárd test felületi energiáját diszperzív, illetve poláris komponensekre. A módszer két alapvető matematikai egyenleten alapul. Az egyenletek meghatározzák a kölcsönhatásokat a szilárd felületek és a folyadékok között [33].

Az egyenletek Young egyenletéből (1)

$$\sigma_S = \sigma_{SL} + \sigma_L \cdot \cos \theta \quad (1)$$

ahol σ_S - a szilárd test teljes felületi feszültsége (mN/m), σ_{SL} - a szilárd test és a folyadék közötti határfelületi feszültség (mN/m), σ_L - a folyadék teljes felületi feszültsége (mN/m), θ a peremszög (°) nagysága a folyadék és a szilárd test kontakt pontjában.

és Good egyenletéből épülnek fel (2)

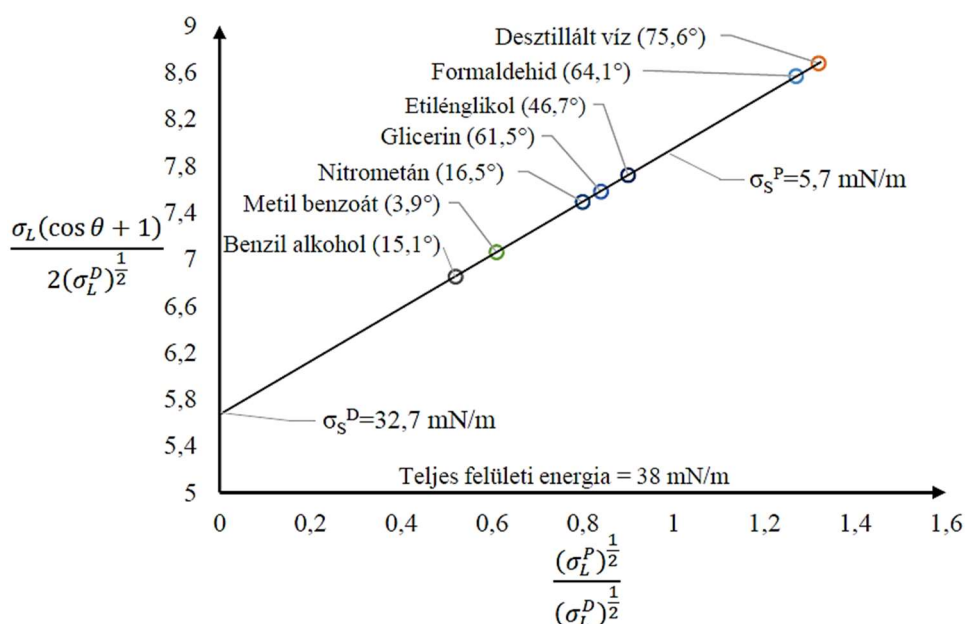
$$\sigma_{SL} = \sigma_S + \sigma_L - 2 * (\sigma_L^D * \sigma_S^D)^{1/2} - 2 * (\sigma_L^P * \sigma_S^P)^{1/2} \quad (2)$$

ahol: σ_L^D - a folyadék felületi feszültségének a diszperzív komponense (mN/m), σ_L^P - a folyadék felületi feszültségének a poláris komponense (mN/m), σ_S^D - a szilárd test felületi feszültségének a diszperzív komponense (mN/m), σ_S^P - a szilárd test felületi feszültségének a poláris komponense (mN/m).

A Young és Good egyenleteket kombinálva, Owens/Wendt alkalmassá tette az alábbi egyenletet arra, hogy meghatározhassuk a vizsgált felületek diszperzív és poláris energiakomponenseinek az értékét (3).

$$\frac{\sigma_L * (\cos \theta + 1)}{2 * (\sigma_L^D)^{1/2}} = (\sigma_S^P)^{1/2} * \frac{(\sigma_L^P)^{1/2}}{(\sigma_L^D)^{1/2}} + (\sigma_S^D)^{1/2} \quad (3)$$

Több felületi feszültséggel rendelkező folyadék használatával (ismerve azok diszperzív és poláris komponenseit) a szilárd test felületén, majd peremszögeiket nyugvócsepp módszerrel lemérve az összes információ rendelkezésre áll egy diagram felvételéhez (58. ábra) [1, 51].



58. ábra: Owens/Wendt diagram polimetil-metakrilát felületi feszültség meghatározásának segítésére [1]

A szilárd test felületi energiájának poláris komponense meghatározható a vonal meredekségének kiszámításával. Továbbá a függőleges tengely metszetében a diszperzív komponens helyezkedik el, melynek segítségével a vizsgált szilárdfázis teljes felületi energiája meghatározhatóvá válik. A módszer alkalmazása az alacsony felületi töltéssel rendelkező és mérsékelt polaritással rendelkező felületek esetében elterjedt. Ilyen felületi tulajdonságokkal rendelkeznek a polimerek, melyek hetero-atomokat tartalmaznak, mint például a poli (vinilklorid), poliimid, poliuretán, poliészter, polikarbonát, poliakrilát. A módszer hátránya az elvégzéséhez szükséges nagy időmennyiség, illetve a nagymennyiségű folyadék felhasználása a pontos eredmények érdekében. Továbbá Owens/Wendt a kísérletezőre hagyja a folyadékok meghatározását, ezen okok miatt, kevésbé alkalmazott módszer [1, 33, 51, 52].

A kutatók körében legelterjedtebb felületi energia számítási elmélet a Fowkes módszer. Owens/Wendt-hez hasonlóan Fowkes módszer is két komponensre választja szét a szilárd testek felületi energiáját. Fowkes módszere matematikai szempontból teljes mértékben megegyezik Owens/Wendt módszerével, ám filozófiája mégis eltérő. Fowkes módszere három alapvető egyenletre vezethető vissza, melyek a szilárd felület és a folyadék között fellépő kölcsönhatásokat írják le.

Az említett három egyenlet a következő:

Young egyenlete,

Dupre képlete a tapadási energiáról (4)

$$I_{SL} = \sigma_S + \sigma_L - \sigma_{SL} \quad (4)$$

ahol: I_{SL} - a folyadék és a szilárd felület közötti egységnyi területre eső adhézión energia (J/m^2).

Fowkes elmélete a folyadékok és a szilárd felület közötti adhézión energia szétbonthatóságán (diszperzív és poláris komponensek) alapul (5).

$$I_{SL} = 2 * [(\sigma_L^D)^{1/2} * (\sigma_S^D)^{1/2} + (\sigma_L^P)^{1/2} * (\sigma_S^P)^{1/2}] \quad (5)$$

Ennek a három egyenletnek a kombinációja adja a Fowkes módszer elsődleges egyenletét

(6)

$$(\sigma_L^D)^{1/2} * (\sigma_S^D)^{1/2} + (\sigma_L^P)^{1/2} * (\sigma_S^P)^{1/2} = \frac{\sigma_L * (\cos\theta + 1)}{2} \quad (6)$$

A matematikai egyenlőséget a két módszer között az bizonyítja, hogy ha az egyenlet mindkét oldalát elosztjuk $(\sigma_L^D)^{1/2}$ -nel, akkor az Owens/Wendt elsődleges módszerét kapjuk.

A Fowkes módszer a két folyadék peremszögértékeit veszi figyelembe. Az egyik folyadéknak csak poláris komponense lehet, a másik folyadéknak, pedig diszperzív és poláris komponenssel is kell rendelkeznie. Ha a nyugvócsepp módszeres peremszögmérések során olyan folyadékot alkalmazunk, amelynek csak poláris összetevője van, akkor az egyenlet leegyszerűsödik a következő képletre (7) [33, 52].

$$\sigma_S^D = \frac{\sigma_L * (\cos\theta + 1)^2}{4} \quad (7)$$

A Fowkes módszert általában a tapadási és bevonási problémák megoldásához használják, mivel a Fowkes egyenlet teljes mértékben alkalmas a tapadási energia kiszámítására, a ragasztó és a felület, vagy a bevonat és a felület között [1, 51, 52].

10.2. Második számú melléklet

A szobahőmérsékletű nyugvócsepp módszeres nedvesítésmérés peremszögeinek értékei

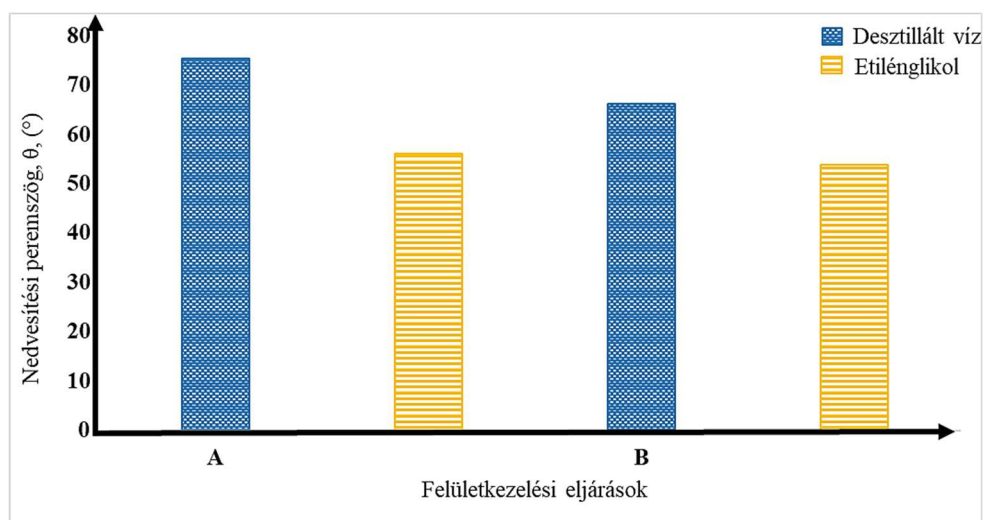
A nyugvócsepp módszeres nedvesítés mérési vizsgálatot a már fentiekben ismertetett technológia szerint végeztem el. A felületkezelt lemezek felületein kialakult desztillált víz, illetve etilén-glikol cseppekről fényképezőgép segítségével felvételeket készítettem. A cseppentéseket a hibalehetőségek minimalizálásának érdekében minden egyes alkalommal háromszor ismételttem, mely során minden ismétlésről felvételt is készítettem. A kezelt

felületeket energiájának Az elkészített felvételek és a számítógépes program segítségével manuálisan kerestem meg a kontaktpontokat és határoztam meg az érintőket, a peremszögek értékeinek kiszámításához. A főmérésből és az ismétlésekből leolvasott jobb és bal oldali peremszög értékeket átlagoltam, ezáltal megismerve az adott felületkezelési technológiával módosított felületek peremszögének számértékeit, mind a desztillált vízzel, mind az etilénlikollal elvégzett cseppentések esetében.

10.2.1. Kezeletlen felületű mintadarabok peremszög mérésének eredményei

A kezeletlen felületű mintadarabok esetében az anyag összetételében, illetve szerkezetében semmilyen módosítást nem végeztünk. Az „A” jelölésű felületkezelési eljárás esetében a mintadarabok felülete a vizsgálatok, mérések elvégzése előtt még felülettisztításon sem esett át. Így a felületen lévő szállítás, tárolás, illetve méretre vágás során a darabra került összes szennyeződés (por, olaj, sorja) a vizsgálatok, mérések során is a felületen voltak. A „B” megjelölésű alkohollal tisztított felület esetében a munkadarabot a mérések, vizsgálatok elvégzése előtt az „Alkalmazott felületkezelési módszerek” fejezetben bemutatott tisztítási leírásnak megfelelően tisztítottam meg.

Az 59. ábra a két felületkezeletlen eljárás nedvesítési peremszög értékei szerepelnek, mind desztillált víz, mind etilénlikol esetében (14. táblázat).



59. ábra: Kezeletlen felületek nedvesítési peremszög értékei desztillált vízzel (kék) és etilénlikollal (sárga)

14. táblázat: Kezeletlen felületek peremszög értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Peremszög értéke Desztillált víz esetében (°)	Peremszög értéke Etilénlikol esetében (°)
Kezeletlen felület	A	75,4	56,1
Alkohollal tisztított felület	B	66,2	53,9

Az 59. ábra, illetve a 14. táblázatban jól látható módon a kezeletlen felület esetében a felületen lévő szennyeződések rossz nedvesítési eredményeket okozott a desztillált víz, illetve az etilénlikol esetében is. A desztillált víznél ez az érték a $75,4^\circ$ peremszögértéket jelenti, míg az etilénlikolnál $56,1^\circ$ nedvesítési peremszögértéket eredményez.

Az egyszerű alkoholos felülettisztítás során eltávolítottuk a szennyeződések a mintadarabok felületéről, ezáltal javítva a felületek peremszögértékeinek nagyságát. Az alkohollal tisztított felületen a desztillált víz peremszög értéke $66,2^\circ$ -ra, míg az etilénlikol $53,9^\circ$ -ra javult a kezeletlen felülethez képest. Az alkoholos tisztítást követően elért peremszög értékek azonban még így sem elég kedvezőek a ragasztott próbatestek teherbírásának nagymértékű fejlesztéséhez. A peremszög mérési vizsgálatok során a felültre cseppentett folyadékok szögértékei a Young jelenségnek megfelelően alakultak ki.

Mivel az alkoholos felülettisztítás egy alap technológia bármilyen felületet érintő beavatkozást figyelembe véve, ezért az általam „B”-nek jelölt alkohollal tisztított felületű mintadarabon elvégzett mérések, vizsgálatok eredményei lesznek a dolgozatom eredményeinek kifejtése során az alap, kontroll, eredmények. Ezáltal az alkohollal tisztított felületről származó mérési eredményeim a fejezet minden diagramján és táblázatán fel lesznek tüntetve, mint alapmérce a többi felületkezelésnek.

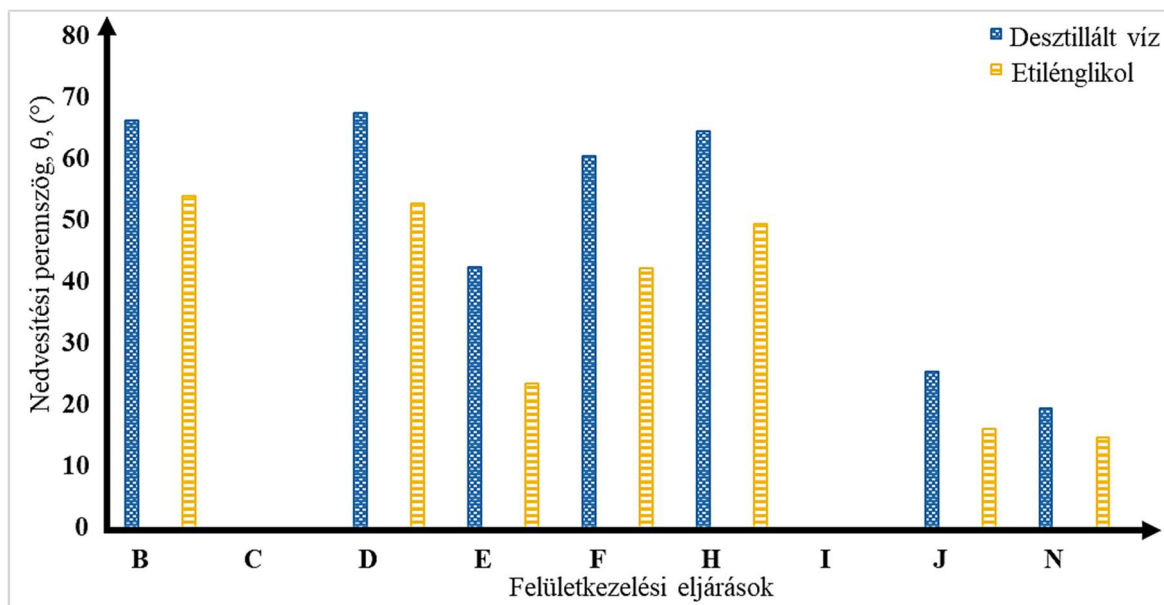
10.2.2. Egyszeresen felületkezelt mintadarabok peremszög mérésének eredményei

Az egyszeresen felületkezelt mintadarabok esetében a minták felületének összetételében és-, vagy szerkezetében egyszeres módosítást hajtottam végre.

A 60. ábra diagramján szereplő első felületkezelt „C” jelölésű lézersugárral kezelt felület esetében „Az alkalmazott felületkezelési módszerek” fejezetben megadott technológiai paraméterekkel készítettem el a lézersugárral kezelt felületet. Ahogy az 60. ábra diagramján és a 15. táblázatban is szerepel a lézersugaras felületkezelés rendkívül kedvező felületet biztosított a peremszögmérési vizsgálatnak. Ugyanis a lézersugárral kezelt felület esetében a desztillált vízzel történő cseppentésnél is a peremszög értéke 0° volt, illetve az etilénlikolnál is 0° -os peremszöget eredményezett. Az adott geometriával elvégzett lézer strukturálási felületkezelés hidrophil felületet eredményezett. A kapott peremszögértékek egy nagyon stabil felületstruktúra létrejöttét bizonyítják. A 0° számértékű peremszög rendkívül kedvező hatással van a kezelt felület energiájára, diszperz és polár értékeire, valamint a ragasztott kötések szilárdságára.

A „D” és „F” jelölésű fáttyollal csiszolt, illetve a Sika® Primer-207-tel felületkezelt mintadarabok esetében, ahogy a 60. ábraszámú diagramon, illetve a 15. táblázatban is jól látható a peremszög értékek, alig különböznek a kontroll felületkezelés peremszög értékeitől. A fáttyollal csiszolás esetében a felületet kis mértékben megérdesítettük, viszont a peremszög értéke nem, vagy csak rendkívül kis mértékben változott. Ebben az esetben fent áll a lehetősége, annak a Cassie-Baxter által bizonyított jelenségnek, amikor a csepp a felületkezelés

során létrejövő érdességi csúcsok tetején helyezkedik el, így nem a felületkezelés által kialakított valódi peremszög értékét adva. A Sika® Primer-207-tel való felületmódosítás során a felületre felvitt és rászáradt alapozó folyadék felszínén mértem a peremszög értéket, tehát a kapott peremszögek értékek a megszilárdult alapozófolyadék felületi energiájáról, polár és diszperz komponenseinek nagyságáról ad információt. Ezesetben is a peremszögek értéke közel egyezik a sima felületi tisztítást követő eljárás eredményeihez. Az alapozófolyadékos eljárás esetében a Young által bizonyított nedvesítési folyamatok érvényesülnek.



60. ábra: Egyszeresen kezelt felületek nedvesítési peremszög értékei desztillált vízzel (kék) és etilénglikollal (sárga)

15. táblázat: Egyszeresen kezelt felületek peremszög értékei

Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Peremszög értéke Desztillált víz esetében (°)	Peremszög értéke Etilénglikol esetében (°)
Alkohollal tisztított felület	B	66,2	53,9
Lézersugárral kezelt felület	C	0	0
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított felület	D	67,35	52,75
Homokszórt Alkohollal tisztított felület	E	42,35	23,45
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított felület	F	60,35	42,15
Sika® Primer-207 kezelt felület	H	64,35	49,3
Forró ioncserélt vízben kezelt felület	I	0	0
DOWSIL™ 1203 3in1 Primerrel kezelt felület	J	25,3	16,1
Nátrium-hidroxiddal maratott alkohollal tisztított felület	N	19,45	14,65

A homokszórt és alkohollal tisztított, illetve a csiszolópapírral csiszolt és alkohollal tisztított felületek esetében a peremszög értékeinek nagyságára, illetve a későbbiekben bemutatásra kerülő felületi érdességi értékekre hivatkozva biztosan állíthatjuk, hogy a Cassie-Baxter nedvesítési jelenség érvényesült. Ugyanis a rendkívül nagyértékű felületi érdességek ellenére, mégis nagy peremszögű eredmények születtek. A homokszórt és alkohollal tisztított felület esetében a felületi érdesség olyan mértékben magas, hogy a Cassie-Baxter jelenség ellenére is alacsonyabb nedvesítési peremszög értéket eredményezett, mint a csiszolópapírral felületmódosított technológia.

A Forró ioncserélt vízben kezelt alumínium felület esetében, ahogy az irodalomkutatásom erről a kezelési módszerről szóló részeiben is kiderült, az alumínium felületének nanoszerkezetében kisebb mértékű elváltozást tapasztaltam. A mikroszkópi képen jól látható, felületen megjelent vékony amorf pszeudo-böhmite szerkezetű nanocsoportok jelenléte. A felület nanoszerkezetében történő változás 0° értékű peremszöget eredményezett, mind a desztillált vizes, mind az etilén-glikolos mérés esetében is. Az eredmény arra enged következtetni, hogy a kezelés során a felületet érő magas hőmérséklet ($\approx 100^\circ\text{C}$), illetve a víz párolgása során felszabaduló oxigén részecskék hatására a felületen nanoszerkezetű oxidréteg átalakulás ment végbe. A kezelt felület a Young-féle nedvesítési jelenségnek megfelelően viselkedik.

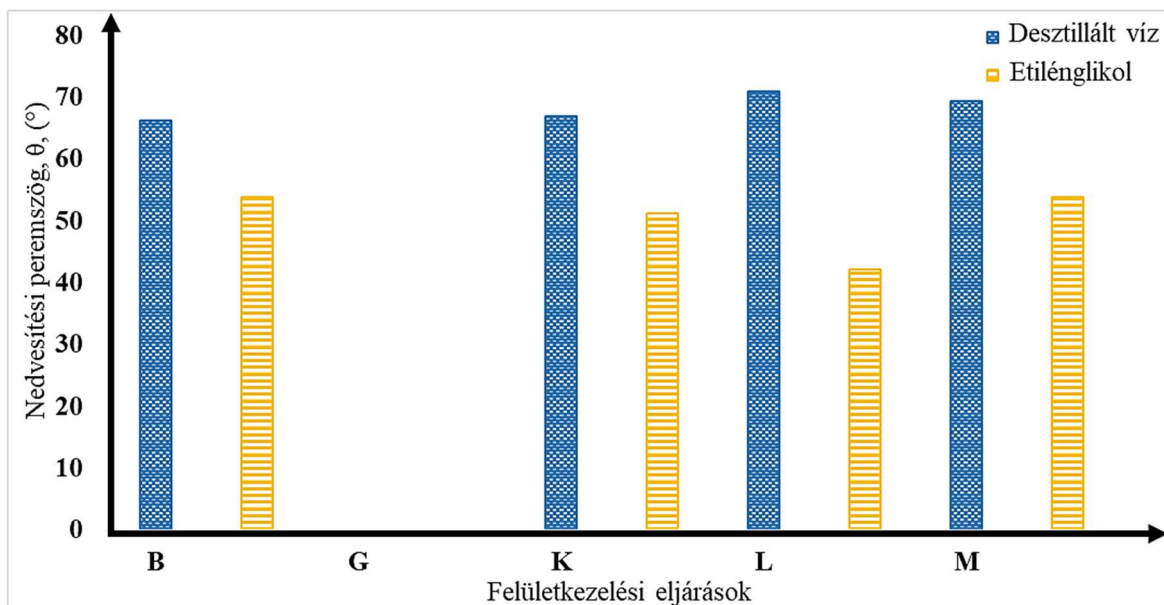
A DOWSIL™ 1203 3in1 primerrel (J) és a Nátrium-hidroxiddal maratott, alkohollal tisztított felületek (N) esetében a kontroll felület, peremszög értékeihez képest, jelentős javulást tapasztaltam. A DOWSIL™ 1203 3in1 primerrel kezelt felület a desztillált vízzel történő mérés során $25,3^\circ$ -os, az etilén-glikollal történő mérés során $16,1^\circ$ -os peremszög értéket mutatott. A nagymértékű csökkenést a primerben található kémiai oldatok maró hatása okozhatta, mely a mintadarab felületét megmarva javította a felületi energia, ezzel a peremszögek értékének nagyságát is. A Nátrium-hidroxiddal maratott, alkohollal tisztított felület esetében a desztilláltvízzel történő cseppentéses vizsgálat $19,45^\circ$ -os, etilén-glikollal elvégzett cseppentésnél $14,65^\circ$ -os peremszögértéket eredményezett. A kontroll felülethez képesti nagy peremszög értékbeli javulást a kémiai maróoldat okozta. Az oldattal történő maratás során oxid-réteg távolítódott el mintadarab felületéről, mely rendkívül kedvező hatással volt a peremszögek, felületi energia megváltozására. A DOWSIL™ 1203 3in1 primerrel és a Nátrium-hidroxiddal maratott felület esetében is, egyértelműen a Young féle nedvesítési jelenség kialakulásáról beszélhetünk.

10.2.3. Kétszeresen felületkezelt mintadarabok peremszög mérésének eredményei

A kétszeresen felületkezelt mintadarabok esetében a minták felületének összetételében és, vagy szerkezetében kétszeres módosítást hajtottam végre.

A 61. ábrán, illetve a 16. táblázatban látható „G” jelölésű lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt mintadarab esetében a lézersugaras és a forró ioncserélt vizes felületkezelési

eljárásokat a többi technológiához hasonlóan „Az alkalmazott felületkezelési módszerek” fejezetben megadott technológiai paraméterekkel készítettem el. A peremszögmérési vizsgálat során a kezelt felület, mind a desztillált víz esetében, mind az etilénlikol esetében is 0° -os értéket eredményezett. Az adott geometriával elvégzett lézer strukturálási felületkezelés hidrofil felületet eredményezett, továbbá a forró ioncserélt vízben történő kezelés során a felületen végbement oxidréteg megváltozás tovább növeli a felületi energia és a nedvesíthetőségi paraméterek kedvezőségét.



61. ábra: Kétszeresen kezelt felületek nedvesítési peremszög értékei desztillált vízzel (kék) és etilénlikollal (sárga)

16. táblázat: Kétszeresen kezelt felületek peremszög értékei

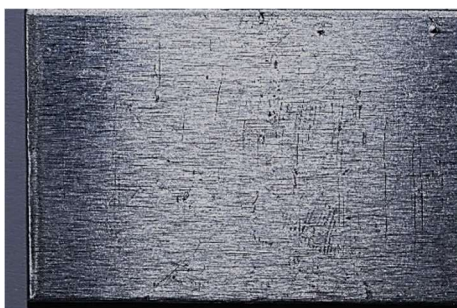
Felületkezelések	Felületkezelések jelölése	Peremszög értéke Desztillált víz esetében ($^\circ$)	Peremszög értéke Etilénlikol esetében ($^\circ$)
Alkohollal tisztított felület	B	66,2	53,9
Lézersugárral-, forró ioncserélt vízben kezelt felület	G	0	0
Homokszórt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	K	66,85	51,3
Csiszolópapírral csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	L	70,91	42,15
Fátyollal csiszolt Alkohollal tisztított Sika® Primer-207 kezelt felület	M	69,31	53,9

A „K”, „L”, „M” jelölésű homokszórt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207 kezelt, valamint csiszolópapírral csiszolt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207 kezelt, illetve fátyollal csiszolt, alkohollal tisztított és Sika® Primer-207 kezelt felületkezelési technológiákkal kialakított mintadarabok esetében közel egyezők a mért peremszög értékek nagysága. Ennek oka, hogy a mechanikai felületkezeléseket követően a kémiai összetételű alapozófolyadékkal történő kezelést hajtottam végre. Mivel az alapozófolyadék egy egybefüggő réteget hozott létre az előtte már mechanikai felületkezelésen átesett minták felületén, így ebben az esetben is a megszilárdult primer, alapozó folyadék nedvesítési peremszögének értékét mértem meg. Az egymástól, illetve az előző fejezetben bemutatott Sika® Primer-207-tel felületkezelt mintadarabok peremszögértékei közötti minimális eltérést az alapozó folyadék felületre vitele előtti mechanikai felületkezelésekből adódó eltérő felületi érdességek okozzák. A kapott eredményekből kimutatható primer alapozó folyadék által biztosított körülbelüli peremszögértékek nagysága. A mechanikai felületkezeléseknek alávetett, majd alapozó folyadékkal bevont mintadarabok esetében a Young féle nedvesítési jelenség lép fel.

10.3. Harmadik számú melléklet

A kutatásom során készített makroszkópos felvételek

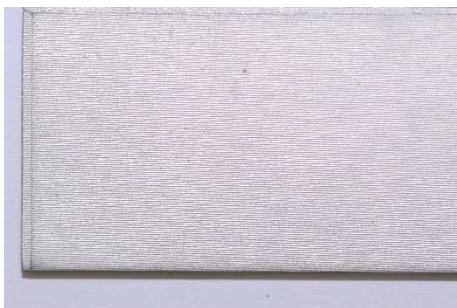
A dolgozat terjedelmi korlátai, miatt a makroszkópos felvételeket jelen helyen, a harmadik számú mellékletben szemléltetem.



62. ábra: „A” módszerrel kezelt felület
makroszkópos felvétele



63. ábra: „B” módszerrel kezelt felület
makroszkópos felvétele



64. ábra: „C” módszerrel kezelt felület
makroszkópos felvétele



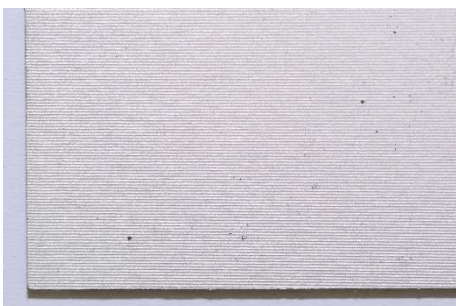
65. ábra: „D” módszerrel kezelt felület
makroszkópos felvétele



66. ábra: „E” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



67. ábra: „F” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



68. ábra: „G” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



69. ábra: „H” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



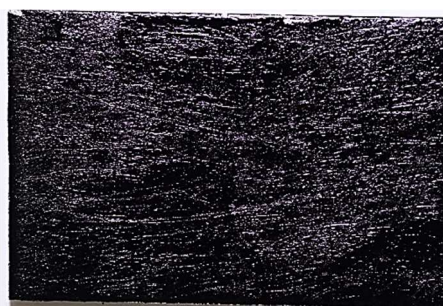
70. ábra: „I” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



71. ábra: „J” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



72. ábra: „K” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



73. ábra: „L” módszerrel kezelt felület makroszkópos felvétele



74. ábra: „M” módszerrel kezelt
felület makroszkópos felvétele



75. ábra: „N” módszerrel kezelt
felület makroszkópos felvétele