

A RAGASZTOTT KÖTÉSEK ADHÉZIÓJÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

INFLUENCES ON THE ADHESION OF BONDED JOINTS

Körömi Benjámin Márk <https://orcid.org/0009-0004-8810-4548> ^{1,2*}, Dr. Berczeli Miklós <https://orcid.org/0009-0004-7187-9064> ¹

¹ Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, 6000 Kecskemét, Izsáki út 10.

² Közúti és Vasúti Járművek Tanszék, Széchenyi István Egyetem, 9026 Győr, Egyetem tér 1.

Kulcsszavak:

Ragasztástechnológia
Adhézió
Adhéziós elméletek
Felületi kölcsönhatások
Ragasztott kötések szilárdsága

Keywords:

Bonding technology
Adhesion
Theories of adhesion
Surface interactions
Strength of bonded joints

Cikktörténet:

Beérkezett .
Átdolgozva .
Elfogadva .

Összefoglalás

A ragasztott kötések a modern ipari alkalmazások és mérnöki megoldások alapvető technológiai elemei, amelyek alkalmazása kiterjed az autóipar, a repüléstechnika, a mikroelektronika valamint számos más területre. Annak ellenére, hogy az adhéziót meghatározó folyamatok régóta a ragasztástechnológiai kutatások középpontjában állnak, továbbra sincs egyetértés a tudományos közösségekben, hogy melyek azok a kölcsönhatások, folyamatok és tényezők, amelyek legnagyobb mértékben befolyásolják a ragasztott kötések adhézióját. Az adhéziós kapcsolatok mechanizmusainak pontos feltárása nemcsak elméleti jelentőséggel bír, hanem alapvetően meghatározza a kötéstechnológiák ipari alkalmazhatóságát és megbízhatóságát is.

A jelen kutatásunk célja, hogy rendszerszintű megközelítéssel vizsgáljuk a ragasztott kötések adhézióját befolyásoló tényezőket. Az irodalomkutatásunk az alapvető adhéziós mechanizmusok, például a mechanikai kapcsolódás, a felületi diffúzió, a kémiai kötések, valamint a nedvesítési tényezők együttes hatására fókuszál. A későbbi, jelen irodalomkutatás alapján meghatározott ragasztástechnológiai kísérleteinkkel célunk, hogy lehetőséget kínáljunk az adhéziós mechanizmusok jobb megértésére és a ragasztástechnológia célzott optimalizálására.

Abstract

Bonded joints are a key technology for modern industrial applications and engineering solutions, with applications in automotive, aerospace, microelectronics and many other fields. Although the processes that determine adhesion have long been at the centre of research in adhesive bonding technology, there is still a lack of consensus in the scientific community as to which interactions, processes and factors have the greatest influence on the adhesion of bonded joints. Accurate elucidation of the mechanisms of adhesion interactions is not only of theoretical

* Kapcsolattartó szerző. Körömi Benjámin Márk
E-mail cím: koromi.benjamin@nje.hu

importance, but also crucial for the industrial applicability and reliability of bonding technologies.

The aim of the present research is to investigate the factors influencing adhesion of bonded joints using a systems approach. The literature review will explore the combined effects of basic adhesion mechanisms such as mechanical coupling, surface diffusion, chemical bonding and wetting factors. With our subsequent adhesive technology experiments, defined on the basis of this literature survey, we aim to provide an opportunity to better understand adhesion mechanisms and to optimize adhesive technology in a targeted manner.

1. Bevezetés

A ragasztott kötések szilárdságát meghatározó tényezők vizsgálata egyre nagyobb figyelmet kap az anyagtudomány és a kötéstechológia területén. Az adhézió alapvető mechanizmusainak megértése nemcsak elméleti szempontból jelentős, hanem közvetlen hatással van az ipari alkalmazások megbízhatóságára és teljesítményére is. Az elmúlt évek kutatásai számos megközelítést kínáltak a jelenség értelmezésére, beleértve a mechanikai kapcsolódás, a diffúzió, a kémiai kötések és a nedvesítési folyamatok vizsgálatát. Ennek ellenére továbbra is számos nyitott kérdés maradt, különösen az egyes mechanizmusok közötti kölcsönhatások és ezek együttes hatásának pontos megértése terén [1,2].

Tanulmányunk célja, hogy átfogó elemzést nyújtsunk a ragasztott kötések szilárdságát meghatározó tényezőkről, főként az alapanyag és a ragasztó között kialakuló kölcsönhatások esetében. Kiemelt figyelmet fordítunk azokra a fizikai és kémiai folyamatokra, amelyek alapvetően meghatározzák a molekuláris és atomos szintű kapcsolat kialakulását. Kutatásunk során részletesen elemeztük a felületi topográfiának, a mikrostruktúrák alkalmazásának, valamint a felületaktiváció szerepét, melyek együttes hatása új kutatási irányzatokat nyithat az adhéziós folyamatok területén. Meggyőződésünk, hogy az így megszerzett eredmények hozzájárulhatnak a ragasztási folyamatok optimalizálásához, és alapot teremthetnek a tartósabb, hatékonyabb és fenntarthatóbb kötési technológiák kifejlesztéséhez.

2. Bevezetés az adhéziós elméletekbe

Napjainkban a ragasztás, mint adhéziós eljárás az egyik legalkalmazottabb, a kötéstechológiai fejlesztések középpontjában álló technológia. Ennek ellenére a mai napig sincs egyezményes megállapodás sem a nemzetközi kutatócsoportok, sem a ragasztóanyagokat gyártó cégek között, hogy melyek azok a kölcsönhatások, folyamatok és tényezők, amelyek legnagyobb mértékben befolyásolják a ragasztott kötések adhézióját. Erre kiváló példa a 2023-ban, Portóban megtartott ragasztástechológiai konferencia, melyen heves vita alakult ki a plenáris előadók között, hogy a felületi topográfia vagy a nedvesítés fontosabb a ragasztott kötések kialakítása, vizsgálata során.

A legtöbb esetben nehéz egy adott elméletet kizárólagosan felelőssé tenni, valószínűsíthetőbb, hogy egy ragasztott kötés adhézióját egyszerre több mechanizmus is befolyásolja. Azonban fontos megemlíteni, hogy ezen mechanizmusok szerepe, behatása különböző mértékben érvényesülhet az egyes ragasztási eljárások esetében, mint például az eltérő felület előkészítések, ragasztóanyag típusok és egyéb tényezők [1,2].

Az adhéziós kötések során a ragasztó és a felület között kialakuló kölcsönhatások jellemzően atomos és molekuláris szinten zajlanak (1. táblázat).

1. Táblázat. Az adhéziós elméletek csoportosítása

Adhéziós elméletek csoportosítása		
Hagyományos megközelítés	Újabb megközelítés	Hatás lokalizációja
Mechanikai kapcsolódás	Mechanikai kapcsolódás	Mikroszkopikus
Elektrosztatikus	Elektrosztatikus	Makroszkopikus
Diffúzió	Diffúzió	Molekuláris
Adszorpció/felületi adhézió	Nedvesíthetőség	Molekuláris
	Kémiai kötések	Atomi
	Sav-bázis reakciók	Molekuláris
	Határréteg minősége	Molekuláris

A mechanikai kapcsolódás esetében kiemelt fontosságú a ragasztóanyag és az alapanyag érintkezési felületének nagysága. Ennek pontos mérésére és vizsgálatára terjedt el a fajlagos felület (SSA) mérőszám. A fajlagos felület meghatározza, hogy az anyag mekkora aktív felülettel rendelkezik tömegegységre vetítve, ami közvetlenül befolyásolja a tapadási és adhéziós tulajdonságokat, valamint az anyag reakcióképességét különböző közegekben. Meghatározása és vizsgálata leggyakrabban a Brunauer–Emmett–Teller (BET) módszerrel történik, de alkalmazhatóak optikai, pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) és atomerőmikroszkópos (AFM) eljárások is a felületi topográfia részletes elemzésére. Egyes feltételezések szerint a felületi érdekesség nagymértékben hozzájárulhat a kapcsolódási mechanizmusok kialakulásához, melynek feltérképezésére optikai- vagy elektron-, esetleg atomerőmikroszkópos eljárásokat szokás alkalmazni. Az elektrosztatikus vagy kontakt töltési mechanizmus esetében a felületi töltés makroszkopikus tényezőként jelenik meg. A diffúzió elmélete a molekuláris és atomi szinten létrejövő kölcsönhatásokat veszi figyelembe és különösen fontos olyan rendszerekben, ahol az anyagok képesek molekuláris elmozdulásra. Az adszorpcióra, illetve felületi adhézióra vonatkozó elméletek különböző kölcsönhatási mechanizmusok szerint csoportosíthatók. A kémiai kötés esetében atomi szintű mechanizmusokról beszélhetünk, melyek az adhéziós kötések egyik legerősebb típusát képviselik. Ebben az esetben az adhézióért felelős molekulák kémiai reakcióba lépnek egymással, amely stabil és tartós kapcsolatot hoz létre a ragasztó és az alapanyag felülete között. A sav-bázis reakciók molekuláris szinten játszódnak le, és az adhéziós kapcsolatok kialakítása során különösen fontosak lehetnek a polarizálható felületek esetén. Ez a kölcsönhatás fokozza a tapadást, mivel elősegíti a kémiai összekapcsolódást a ragasztó és a felület között. A határréteg minőségével kapcsolatos elmélet esetében szintén molekuláris szinten kell vizsgálni. A határréteg minősége közvetlenül befolyásolja a kötés erősségét, mivel az egyenletes és tiszta felületi réteg elősegíti a molekuláris szintű kölcsönhatások kialakulását. Bármilyen szennyeződés vagy gyenge minőségű határréteg jelenléte csökkentheti az adhéziós kötés erejét, mivel ezek gátolják a megfelelő molekuláris érintkezést. Ennek eredményeként alacsony szilárdsággal rendelkező ragasztott kötéseket kapunk vagy egyáltalán nem jön létre ragasztott kötés [1–3].

2.1. Mechanikai kapcsolódás elmélete

A mechanikai kapcsolódás elmélete alapján a ragasztóanyag a felületen található pórusokba, üregekbe és egyéb egyenetlenségekbe való behatolása révén hoz létre adhéziós kapcsolatot. Ezen feltételezésre alapozva az a következtetés vonható le, hogy a ragasztóanyag, amely behatol a két összekapcsolandó felület egyenetlenségeibe, képes alakzáró kötést létrehozni közöttük. Ennek a jelenségnek köszönhetően növelhető a ragasztott kötések szilárdsága. A ragasztott kötések szilárdsága jellemzően nagyobb, porózus, érdesített felületek esetében, ez az elmélet azonban nem minden esetben alkalmazható, hiszen jó adhézió sima, kezeletlen felületek között is létrejöhet.

A ragasztani kívánt felületek érdesítése után tapasztalható megnövekedett szilárdság oka lehet: (a) a felületek mechanikus kapcsolódása, (b) a tiszta, minimális oxidréteggel rendelkező felület, (c) a kezelés hatására megváltozott felületi energia értéke és (d) a kontaktfelület növekedése. Jelenleg sem tisztázott, hogy a mechanikai kapcsolódásnak köszönhetőek az erős kötések, vagy a kezelés eredményeként megnövelt érintkezési felületnek [1,3,4].

2.2. Elektrosztatikus (kontaktustöltési) elmélet

Az elektrosztatikus elmélet szerint, az adhézió milyenségét a ragasztó és az alapanyag felülete között kialakuló kontaktustöltési hatások befolyásolják. A folyamat során elektronátadás történik a ragasztó és a felület között. A feltételezések alapján, ezek az elektrosztatikus erők felelősek a ragasztott kötések külső igénybevétellel szembeni ellenállóképességükért. Ezen elméletet hivatott bizonyítani az a megfigyelés is, mely során elektromos kisüléseket figyeltek meg, miközben egy ragasztót lefejtettek a hozzá kapcsolódó felületről [5].

Számos esetben vizsgálták az elektrosztatikus mechanizmusok hatását a tapadásra és az eredmények azt mutatták, hogy ezek mértéke elhanyagolható a többi tényezővel szemben [5,6].

2.3. Diffúziós elmélet

A diffúziós elmélet szerint, az adhézió a ragasztó és a felület közötti molekulák kölcsönös diffúziója révén alakul ki. Ezen elmélet elsősorban akkor alkalmazható, ha mind a ragasztóanyag, mind a polimer alapanyag hosszú láncmolekulákkal rendelkezik, amelyek képesek a megfelelő mértékű elmozdulásra. Ez esetben az interdiffúziós réteg vastagsága hozzávetőlegesen 10 és 1000 Å (1–100 nm) közötti [1,5].

Az elmélet bizonyítására egy jó példa a polietilén és a polipropilén adhéziója a butilgumival. Amennyiben a két polimert a poliolefin olvadáspontja alatti hőmérsékleten ragasztják össze, a kötés szilárdsága alacsony marad. Ezzel szemben, ha a ragasztás a polietilén (135°C) és a polipropilén (175°C) olvadáspontja feletti hőmérsékleten történik, a kötés szilárdsága jelentős mértékben megnő. Egyes feltételezések alapján a magasabb hőmérsékleten fokozódik az interdiffúzió a poliolefin és a butilgumi között, mely erősebb kötéshez vezethet [7].

2.4. Kémiai kötés elmélete

A kémiai kötés elmélete alapján az adhéziós kötés kialakulása a felszíni kémiai erőknek tulajdonítható. A ragasztó és a felületek között létrejövő hidrogén-, kovalens és ionos kötések erősebbek, mint a diszperziós vonzóerők [1].

A kémiai kötés négy alapvető kölcsönhatást foglal magába, a kovalens kötések, a hidrogénkötéseket, a Lifshitz–van der Waals-erőket, valamint a sav-bázis kölcsönhatásokat. Ezek pontos jellege és erőssége nagymértékben függ a ragasztási kötés határfelületének kémiai összetételétől, vagyis attól, hogy milyen kémiai csoportok vannak jelen az érintkező felületeken. A kémiai kötés létrejöttét támogató erősebb kötések, mint a kovalens és ionos kötések (2. táblázat) jelentősen nagyobb tapadási erőt biztosítanak, mint az úgynevezett másodlagos kötések [1–3].

2. Táblázat. A Lifshitz-van der Waals kölcsönhatások és a kémiai kötések energiájának táblázatos összefoglalása

Típus	Példa	E (kJ/mol)
Kovalens	Ca-C	350
Ion-ion	Na ⁺ ... Cl ⁻	450
Ion-dipólus	Na ⁺ ... CF ₃ H	33
Dipólus-dipólus	CF ₃ H ... CF ₃ H	2
London diszperzió	CF ₄ ... CF ₄	2
Hidrogénkötés	H ₂ O ... H ₂ O	24

A másodlagos kötések gyengébb fizikai erőkön alapulnak, például a hidrogénkötéseken, amelyek jellemzően poláris molekulákban fordulnak elő, ahol funkciós csoportok találhatók.

Az intermolekuláris kölcsönhatások vizsgálatát megelőzően fontos tisztázni néhány alapvető fogalmat. A dipólus egy olyan poláris molekulát jelent, amelynek töltéseloszlása két elkülönült, pozitív és negatív töltést alkot. A dipólus-dipólus kölcsönhatások során a poláris molekulák úgy rendeződnek el, hogy az egyik molekula pozitív vége a másik molekula negatív végéhez közel helyezkedjen el, mely vonzó erőt eredményez. A hidrogénkötés egy speciális dipólus-dipólus kölcsönhatás, amely akkor alakul ki, ha egy hidrogénatom egy erősen elektronegatív atomhoz kapcsolódik, és vonzódik egy másik molekula magányos elektronpárjaihoz. A London diszperziós erők kis, pillanatnyi dipólusokból keletkeznek, amelyek az elektronok véletlenszerű mozgása során jönnek létre [1,3,4].

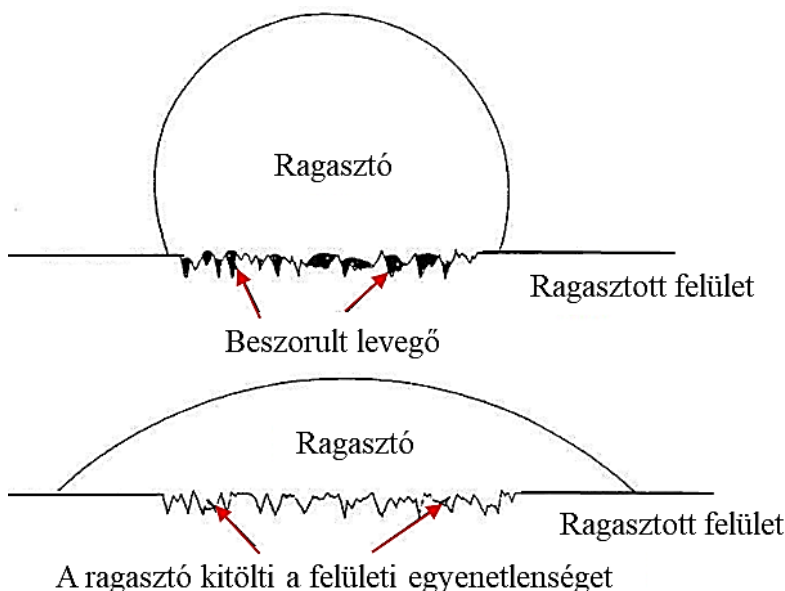
A kovalens kötések kulcsfontosságú szerepet töltenek be az erős és tartós ragasztott kötések létrehozásában, mivel ezek a kötések áthatolhatnak a határfelületen és nagyszámban fordulnak elő térhálósított ragasztókban, illetve hőre keményedő bevonatokban. Az ilyen kötéstípus kialakulásához azonban nélkülözhetetlen, hogy a ragasztani kívánt felületeken egymással reakcióképes kémiai csoportok legyenek jelen. Például egyes, előzetesen kezelt felületek olyan funkciós csoportokat tartalmaznak, amelyek megfelelő körülmények között képesek kémiai kötést létrehozni a ragasztóanyaggal [1,3,4].

2.5. Nedvesítés elmélet

A nedvesítés elmélet kimondja, hogy az adhézió, két anyag molekuláris érintkezéséből és a kialakuló felületi erőkből ered. Azt a folyamatot, amely során folytonos kapcsolat jön létre a ragasztó és a felület között, nedvesítésnek nevezik. Ahhoz, hogy a ragasztó megfelelően nedvesítsen és elterüljön a szilárd felületen, a ragasztóanyagnak alacsonyabb felületi feszültséggel kell rendelkeznie, mint a szilárd anyag felületi feszültsége.

A Van der Waals-erők rendkívül érzékenyek a molekulák közötti távolságra (r), mivel hatásuk a távolság hetedik hatványával ($1/r^7$) csökken, míg a felületek közötti távolság esetében ez a csökkenés a köbhatvány ($1/r^3$) mértékével megy végbe [1,4].

Ahogy azt az 1. ábra is szemlélteti, ideális esetben jó nedvesítés akkor történik, amikor a ragasztó kitölti az alapanyag felületének egyenetlenségeit, például a völgyeket és struktúrákat. Ezzel szemben, ha a nedvesítés nem megfelelő, a ragasztó hidat képez ezek felett, ezáltal csökkentve a tényleges érintkezési felületet az alapanyag és a ragasztó között, mely a kötési szilárdság csökkenését eredményezi [1,8,9].



1. ábra. Szemléltető ábra a ragasztásnak kedvezőtlen (felső) és kedvező (alsó) nedvesítésről

A szerves ragasztók az esetek többségében jól nedvesítik a fém alapú felületeket. Ezzel szemben számos felület alacsonyabb feszültséggel rendelkezik, mint a hagyományos

ragasztóanyagok. Annak érdekében, hogy jó nedvesedés alakuljon ki, nélkülözhetetlen, hogy a ragasztó felületi feszültsége alacsonyabb legyen, mint az alapfelületé. Ennek a hatásnak köszönhető, hogy a szerves ragasztók, például az epoxigyanták kiválóan tapadnak fémekhez, viszont kevésbé hatékonyak kezeletlen polimer alapú anyagok, mint a polietilén, polipropilén és fluoroplasztok esetén [2,8,11-15].

2.6. Gyenge határréteg elmélet

A gyenge határréteg elméletét először Bikerman fogalmazta meg, melyben az állította, hogy a kötés meghibásodása a ragasztóanyag és az alapanyag kapcsolódásánál megy végbe és egy kohéziós törés, vagy egy gyenge határréteg miatt következik be [10]. A gyenge határrétegek származhatnak a ragasztóanyagból, az alapanyag felületéből, a környezetből, vagy ezek bármelyikének kombinációjából, ha például egy szennyeződés koncentrálódik a ragasztási felület közelében. Abban az esetben, ha a ragasztott kötésben jelen van az említett gyenge határréteg, akkor a kötés tönkremenetele esetén, ez a gyenge határréteg szakad el, bár a meghibásodás látszólag a ragasztó–felület találkozásánál történik.

Egyes fém-oxidok köztudottan gyengén kapcsolódnak az alapfémhez, az ilyen felületekből létrehozott ragasztott kötések kohéziós tönkremenetele az oxidrétegen belül következik be. Azonban némely oxid, például az alumínium-oxid rendkívül erősen kapcsolódik az alapfémhez, ebből kifolyólag jelentős mértékben nem rontja a ragasztott kötések szilárdságát. A polietilénben és a fém-oxidokban található gyenge határrétegek különféle felületkezelésekkel eltávolíthatók vagy megerősíthetők [1,3,5,10].

3. Összegzés

Jelen tanulmányban részletesen vizsgáltuk a ragasztott kötések adhézióját meghatározó tényezőket, különös tekintettel az alapanyag és a ragasztó között kialakuló kölcsönhatásokra. A kutatás során áttekintettük a mechanikai kapcsolódás, a diffúziós folyamatok, a kémiai kötések és a nedvesítési elméletek szerepét, és kiemeltük ezek együttes hatását a kötési szilárdság kialakításában. Az eredmények rámutattak, hogy a felület előkészítés és a ragasztási mechanizmusok mélyebb megértése elengedhetetlen a tartós és megbízható ragasztott kötések létrehozásához.

Az eredmények arra engednek következtetni, hogy a felületi topográfia megfelelő kialakítása és az aktiválási eljárások helyes megválasztása jelentősen növelheti a kötési szilárdságot. Ezen tényezők integrált szemlélete új lehetőségeket teremt a ragasztási technológiák fejlesztésében, hozzájárulva a hatékonyabb ipari megoldásokhoz.

A jövőben célunk a különböző mikro-topográfiák hatásának alapos vizsgálata a ragasztott kötések szilárdságára, mind felületaktivált, mind felület-aktiválatlan állapotokban is. Ezzel tovább mélyíthetjük az adhéziós elméletekről szerzett ismereteinket, és alapot teremthetünk a még hatékonyabb és fenntarthatóbb ragasztástechnológiai eljárások kialakításához.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány a 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 projekt keretében jött létre. A 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2024-2.1.1-EKÖP pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] S. Ebnesajjad, A.H. Landrock, Introduction and Adhesion Theories, Adhesives Technology Handbook, William Andrew Applied Science publishers, 2015, pp. 1–18, DOI: 10.1016/B978-0-323-35595-7.00001-2
- [2] A. Pizzi, K.L. Mittal, Handbook of Adhesive Technology, CRC Press, 2017, pp. 1-658, DOI: 10.1201/9781315120942
- [3] L.F.M. da Silva, A. Öchsner, R.D. Adams, Handbook of Adhesion Technology, Springer Reference, 2018, pp. 1-146, DOI: 10.1007/978-3-642-01169-6

- [4] K.W. Allen, Some reflections on contemporary views of theories of adhesion, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1993, Vol. 13, Is. 2, pp. 67–72, DOI: 10.1016/0143-7496(93)90015-2
- [5] K.L. Mittal, T. A. Roth, Surface Contamination: Genesis, Detection, and Control, *Journal of the Electrochemical Society*, 1979, Vol. 127, No. 6, pp. 3-71, DOI: 10.1149/1.2129922
- [6] A.D. Roberts, Surface charge contribution in rubber adhesion and friction, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1977, Vol. 10, No. 13, p. 1801, DOI: 10.1088/0022-3727/10/13/016
- [7] S. Wu, *Polymer Interface and Adhesion*, Routledge, 2017, pp. 1–630, DOI: 10.1201/9780203742860
- [8] M. Berczeli, Járműipari kötések fejlesztése felületkezelési eljárásokkal, PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2022.
- [9] K.L. Mittal, K.W. Lee, *Polymer Surfaces and Interfaces: Characterization, Modification and Application*, CRC Press, 2023, pp. 1–424. DOI: 10.1201/9780429070297
- [10] J.J. Bikerman, Causes of Poor Adhesion: Weak Boundary Layers, *Industrial and Engineering Chemistry*, 1967, Vol. 59, No. 9, pp. 40-44, DOI: 10.1021/ie51403a010
- [11] J. Hlinka, Zs. Fogarassy, Á. Cziráki, Z. Weltsch, Wetting Properties, Recrystallization Phenomena and Interfacial Reactions Between Laser Treated Cu Substrate and SAC305 Solder, *Applied Surface Science*, 2020, Vol. 501 No. 1, pp. 1-6, DOI: 10.1016/J.APSUSC.2019.144127
- [12] Z. Weltsch, Effect of Femtosecond Laser Impulses for Metallic Glass Magnetic Properties during Laser Cutting Processes, *Acta Physica Polonica A*, 2020, Vol. 137, No. 5, pp. 858-860, DOI: 10.12693/APhysPolA.137.858
- [13] Z. Weltsch, Zs. Fogarassy, A. Lovas, J. Takács, Á. Cziráki, G. Tichy, The Contact Angle Between Ag-Based Meltsch and Graphite Substrate and the Texture Evolution During the Subsequent Solidification, *Acta Electrotechnica et Informatica*, 2013, Vol. 13, No. 1, pp. 41-44, DOI: 10.2478/aeei-2013-0008
- [14] J. Hlinka, Z. Weltsch, Relation between the Wetting Property and Electrical Conduction of Silver-Gold (Ag-Au) Alloys, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2013, Vol. 41, No. 2, pp. 95-98, DOI: 10.3311/PPtr.7108
- [15] Z. Weltsch, A. Lovas, J. Takács, Á. Cziráki, G. Tichy, A. L. Tóth, L. Illés, Wetting Ability of Ag Based Molten Alloys on Graphite Substrate, *Solid State Phenomena*, 2010, Vol. 159, No. 1, pp. 117-120, DOI: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/SSP.159.117