



Pannon Egyetem
Vegyésmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

Folyasztószer-minimalizált forrasztás autóiipari elektronikai termékekhez

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

Kocsis Eszter
okleveles vegyésmérnök

Témavezető:

Dr. Szalai István
egyetemi tanár

2025

Bevezetés

Az elektronikai szerelvények ólommentes forrasztásának folyamatában jelenleg nélkülözhetetlen a folyasztószer használata. A folyasztószer a fém felületek oxid mentesítésében vesz részt, valamint elősegíti a nedvesítést. A tisztítást nem igénylő folyasztószer használatakor elméletben a termék tervezett élettartama alatt nem kell számítanunk a forrasztás után visszamaradó anyagok káros hatásával. A gyakorlat azonban nem ezt mutatja, a folyasztószer alkalmazásával megbízhatósági kockázatnak tesszük ki a termékeket. Az autóiipari elektronikai termékek meghibásodása az esetek nagy részében a termék nem megfelelő tisztaságára vezethető vissza. A nyomtatott áramköri paneleken visszamaradó folyasztószer maradványok számos, különböző természetű hibajelenséget okozhatnak, mindamelllett rontanak a panel esztétikai megjelenésén. Többek között elősegítik a nem kívánt forraszglyó tapadását, a lakkréteg vagy alátöltő anyagét azonban akadályozhatják, felgyorsíthatják a PCB korrózióját. A folyasztószer maradványok ionos szennyeződések is tartalmaznak, amelyek migrációjával rövidzárlat alakulhat ki.. Kritikusak a folyasztószer ionos maradványai, amelyek elektromigrációt okozhatnak és villamos rövidzár alakulhat ki. Az autóiipari elektronikai ipar fejlődésével és miniatürizálásával az ionos migráció akár katasztrofális kimenetelű meghibásodáshoz is vezethet.

Az atmoszférikus nyomású plazmakezelés egy széles körben alkalmazott felületmódosítási eljárás. Segítségével mikroszkopikus tisztítás, felületaktiválás és bevonatolás végezhető különböző anyagokon, például műanyagon, fémen, textílián és üvegen. A plazmakezelés képes csak a felületet módosítani, az anyag mélyebb rétegeit nem, kíméletesebb, mint a kémiai felületkezelések. A hagyományos ipari előkezelési módszerekkel szemben a plazmatechnológia hatékonyabb és környezetbarátabb alternatívát kínál, ezért egyre inkább előtérbe kerül az ipari folyamatokban.

Az elektronikai iparban a plazmakezelés alkalmazható alapanyagok, például nyomtatott áramköri lapok (PCB-k) gyártásának egyik technológiai lépéseként, valamint az elektronikai szerelvények alakkövető bevonatolása előtti előkezelésként. A plazmatechnológia lehetőséget kínál a tiszta és aktivált fémfelületek előállítására, miközben csökkenthető és minimalizálható a forrasztási folyamat során felhasznált folyasztószer mennyisége.

Az atmoszférikus nyomású plazmatechnológia előnyei közé tartozik az automatizálhatóság, a programozhatóság, valamint az ipari gyártósorba való integrálhatóság.

Célkitűzés

A doktori kutatás célja az elektronikai szerelvények gyártása során alkalmazott folyasztószeres termékélettartamra gyakorolt hatásainak vizsgálata, valamint egy alternatív tisztítási eljárás bevezetése a folyasztószer mennyiségének csökkentésére. A formálógáz, atmoszférikus nyomású plazmakezelés alkalmazásával lehetőség nyílik fémtiszta felületek kialakítására, ami elősegíti a forrasztási felület forraszanyag általi nedvesíthetőségét és csökkenti a forrasztás után visszamaradó ionos szennyeződések. Ezáltal nemcsak a gyártási folyamatok hatékonysága növelhető, hanem a termékek megbízhatósága és élettartama is javulhat.

Kísérleti munka

A kísérleti munka négy nagyobb területre tagolódik. Az első témakörben a folyasztószer maradványok káros hatásait ismertetem: két különböző meghibásodáshoz vezető mechanizmust (elektrokémiai migráció és átütési szilárdság változása), valamint impedancia mérésén alapuló ionos szennyezettség detektálására alkalmazható módszereket tárgyalva. A második témakörben bemutatott nedvesíthetőségi és forraszthatósági mérési eredmények alátámasztják az 5% H₂ és 95% N₂ tartalmú formálógázból előállított atmoszférikus nyomású plazmakezelés forrasztást elősegítő hatását a nyomtatott áramköri lapok forrasztási felületein. A harmadik témakör foglalkozik azzal, hogy a plazmakezelés milyen mechanizmusokon keresztül fejti ki hatását, valamint milyen folyamatok játszódhatnak le ennek során. Vizsgáltam a felület kémiai összetételének és mechanikai tulajdonságainak (felületi érdességi paraméterek) változásait. Három különböző típusú bevonattal ellátott NYÁK-ot vizsgáltam: immerziós ón (ImSn), immerziós ezüst (ImAg) és kémiai nikkel-arany (ENIG). Ezeket a panelbevonatokat széles körben alkalmazzák az elektronikai iparban jó forraszthatóságuk és megbízhatóságuk miatt. Ugyanakkor mindhárom típus hajlamos az oxidációra az idő múlásával és bizonyos környezeti körülmények között. Végül a negyedik témakör mind felület-, mind furatszerelt technológiával készült folyasztószer-minimalizált forrasztásokat mutat be, kiemelt figyelmet fordítva a kialakult forraszkötések anyagi minőségére és szabványoknak való megfelelésére.

Új tudományos eredmények, tézisek

1. Az egymástól 0,5 mm távolságban elhelyezkedő ón vezetősávok között kialakuló dendritek fejlődési sebességének vízcsepp teszttel történő elemzésén keresztül kimutattam, hogy az elektromos térerősség (6-12 V/mm) növelésével átlagosan 56,1%-ot, míg az Interflux2005C tisztítást nem igénylő folyasztószer maradványaiból származó ionos koncentráció megjelenésével 76,2%-ot csökken a hibáig (átvezetés, rövidzár) eltelt átlagos idő (MTTF). (Vonatkozó publikáció: [C1])
2. Kimutattam, hogy a hőmérséklet, a páratartalom és az ionos koncentráció növelésével csökken az ón bevonatú FR4 alapanyagú nyomtatott áramköri lemezek átütési feszültség értéke. Az Interflux2005C tisztítást nem igénylő folyasztószerrel szennyezett ón bevonatú, FR4 alapanyagú NYÁK átütési feszültsége 27%-kal kisebb, mint a folyasztószer hozzáadása nélkül vizsgált ugyanolyan anyagi minőségű minta átütési feszültsége. Tiszta és Interflux2005C folyasztószerrel szennyezett felületek esetén alacsonyabb átütési feszültséget eredményezett az emelt hőmérséklet és páratartalom (40°C, 60% RH), 9,7 és 10,6%-os csökkenéssel, az enyhébb környezeti paraméterekhez (20°C, 10% RH) képest. (Vonatkozó publikáció: [C2])
3. Megállapítottam, hogy 5% H₂ és 95% N₂ tartalmú formálógázból, atmoszférikus nyomáson előállított, 10 mm-es tárgytávolságban plazmakezelt immerziós ón, immerziós ezüst és kémiai nikk-el-arany panelbevonatok esetén csökkenthető a forrasztás során alkalmazott folyasztószer mennyisége, mivel az így végrehajtott plazmakezelés javítja a nedvesíthetőséget és forraszthatóságot. (Vonatkozó publikációk: [C3, K1, K2])
 - 3.1. Érintkezési szög, ülcsepp módszerrel történő mérésén keresztül meghatároztam a vizsgált felületek eredeti és plazmakezelés utáni határfelületi energiáját, víz és dióidmetán standard oldatokat alkalmazva. Az immerziós ón esetén 104%-kal, az immerziós ezüst esetén 42%-kal és kémiai nikk-el-arany bevonat esetén 88%-kal nőtt a teljes határfelületi energia. A határfelületi energia poláris komponense tekintetében immerziós ón esetén 308%-os, az immerziós ezüst esetén 268%-os és kémiai nikk-el-arany bevonat esetén 1141%-os növekedést tudtam kimutatni.
 - 3.2. 250°C-ra hevített, olvadt SAC305 forrasanyagot alkalmazó forraszthatósági tesztek alapján meghatároztam a vizsgált felületek nedvesítési görbéit. Kísérleteim során kereskedelmi forgalomban kapható Interflux2005C folyasztószert alkalmaztam 100%, 50%, 25% és 12,5% koncentrációban. Ezen hígítási sor segítségével megállapítottam, hogy a forrasztás során alkalmazott Interflux2005C típusú folyasztószer mennyisége a felére csökkenthető a vizsgált panelbevonatok esetén, a leírt paraméterekkel végrehajtott plazmakezelés alkalmazása mellett anélkül, hogy a forraszthatóság kedvezőtlenül változna.

4. Kimutattam, hogy immerziós ón, immerziós ezüst és kémiai nikkkel-arany felületeken az 5% H₂ és 95% N₂ tartalmú formálógázból előállított, atmoszférikus nyomású plazmakezelés a nyomtatott áramköri lap forrasztási felületének érdességét módosítja, míg a kémia összetételre nincs jelentős hatással.

(Vonatkozó publikációk: [C4, K3])

- 4.1. Fehér fény interferometriával meghatározott felületi érdesség értékek alapján megállapítottam, hogy az egyenletlenség magasság (R_z) értéke növekszik a plazmakezelés hatására immerziós ón (1,611 μm -ről 1,893 μm -re), immerziós ezüst (1,019 μm -ről 1,843 μm -re) és kémiai nikkkel-arany bevonatok (1,358 μm -ről 1,439 μm -re) esetén. Immerziós ón és immerziós ezüst bevonat esetén a felületi érdesség négyzetes középértéke (S_q) és felületi érdesség aritmetikai középértéke (S_a) is növekvő tendenciát mutat. Kémiai nikkkel-arany bevonat esetén ezen értékek csökkenése tapasztalható. Pásztázó elektronmikroszkóp energia diszperzív röntgen spektroszkópiái és lézer-indukált plazma spektrometriai módszerekkel vizsgálva a forrasztási felületeket plazmakezelés előtt és után, megállapítható, hogy nem tapasztalható szignifikáns eltérés a felületek kémiai összetételében.

Tézispontok alapjául szolgáló tudományos publikációk, előadások és poszterek

- [C1] Ható, Z.; Horváth, B., Guba S., Tóth Zs., **Kocsis E.**, Boda D. and Szalai, I.: Electrochemical migration and dendrite growth between two electrodes: Experiments and Brownian dynamics simulations International Journal of Heat and Mass Transfer, 126108, ISSN 0017-9310, Volume 234, (2024)
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126108>
- [C2] Guba, S., Horváth, B., Gugolya, Z., **Kocsis, E.** and Szalai I.: Dielectric breakdown characteristics of flux-contaminated printed circuit boards in different environmental conditions, Heliyon 11 (2025) e42324
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42324>
- [C3] **Kocsis, E.**; Lukács, A. and Szalai, I.: Impact of plasma treatment on solderability of printed circuit boards, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 1246 (2022) 012013
doi:10.1088/1757-899X/1246/1/012013
- [C4] **Kocsis E.**; Lukács, A. and Szalai, I.: Investigation of Atmospheric Pressure Plasma Treatment on PCB Surface Finishes, IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 52, no. 11, pp. 5345-5349, Nov. 2024
doi: 10.1109/TPS.2024.3507074
- [K1] **Kocsis, E.**; Lukács, A. és Szalai, I.: Plazmakezelés hatásvizsgálata nyomtatott áramköri panelek forraszthatóságára, XIII. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonkenese, 2021. október 10-12.
- [K2] **Kocsis, E.**; Lukács, A. és Szalai, I.: Plazmakezelés hatása elektronikai szerelvények forraszthatóságára, ENELKO 2022 - XXIII. Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia, SzámOkt 2022 - XXXII. Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), (2022) pp. 25-29., 4 p., ENELKO, Marosvásárhely, Románia, 2022. október 13-16.
- [K3] **Kocsis, E.**; Lukács, A. és Szalai, I.: Investigation of Atmospheric Pressure Plasma Treatment on PCB Surface Finishes, Conference on MACRO meets NANO in Measurement for Diagnostics, Optimization and Control, Delft, Hollandia, 2023. szeptember 21-22.

Egyéb tudományos publikációk, előadások

- 1.** Tóth, Zs; **Kocsis E.**, Szalai, I. and Lukács, A.: “No-Clean” Flux Residues Detection With Impedance Measurements, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 14, no. 4, pp. 729-734, (2024), <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2024.3382098>
- 2.** **Kocsis, E.**; Lukács, A. és Szalai, I.: Plazmakezelés nyomtatott áramköri panelek forraszthatóságának javítására, PhD hallgatók anyagtudományi napja XXI., Veszprém, 2021. november 8.
- 3.** **Kocsis, E.**; Lukács, A. és Szalai, I.: Plazmakezelés tisztítási hatékonyságának vizsgálata forrasztott elektronikai termékeken, PhD hallgatók anyagtudományi napja XXII., Veszprém, 2022. november 14.