

Tisztelt OTDT!

A személyes adatok kitöltése során megadtam, hogy a szakdolgozatom témája hasonló a TDK dolgozatom témájához. A kérdés alatti leírásban az állt, hogy ez esetben szükséges a szakdolgozat feltöltése is.

A dokumentum feltöltési lehetőségek között a legördülő listában ilyen megnevezés nem szerepel, ezért töltöttem nyilatkozatként fel.

Szakdolgozatom lent olvasható.

Tisztelettel: Bárány Panna

SZAKDOLGOZAT

Bárány Panna

2023

Pannon Egyetem

Mérnöki kar, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézet

Mechatronikai mérnöki alapszak

SZAKDOLGOZAT

Forrasztás minőségét elősegítő, újszerű tisztítási
eljárások összehasonlító elemzése

Bárány Panna

Témavezető: Dr. Lukács Attila

Konzulens: Pekk Letícia

2023

SZAKDOLGOZAT TÉMAKIÍRÁS

Hallgató Neptun kódja, neve:	EX6GU7, Bárány Panna
A téma címe:	Forrasztás minőségét elősegítő, újszerű tisztítási eljárások összehasonlító elemzése
Témavezető oktató:	<i>Dr. Lukács Attila</i>
Témakiíró egység:	Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézet, Zalaegerszeg
Képzés(ek), melyek hallgatói a témát felvehetik:	Mechatronikai mérnök BSc. Zalaegerszeg
Teljesítés helyszíne (cég neve, címe):	Pannon Fejlesztési Alapítvány, 8900 Zalaegerszeg, Dr. Michelberger Pál út 3.
Külső konzulens:	Pekk Letícia
Speciális követelmények:	
A feladatok részletes ismertetése: • Végezzen irodalomkutatást a furatszerelt alkatrészek forraszthatóságának növelése területén • Végezzen kitekintést a különböző folyasztószer alkalmazásának témakörében • Mutassa be a forrasztás minőségét elősegítő, újszerű tisztítási eljárásokat, és hasonlítsa össze azok tulajdonságait: ○ Vegyi mosás ○ Ultrahangos tisztítás ○ UV besugárzás + ózon ○ Lézeres tisztítás ○ Szárazjeges tisztítás ○ Plazmatisztítás • Meghatározott tisztítási paraméterek mentén végezzen nedvesítési vizsgálatot és határozza meg az optimális folyasztószer felviteli mennyiséget • Forrasztási kísérletek végzése az előző pont eredményeinek tekintetében, majd értékelje (keresztmetszet) vizsgálati eljárással • Összegezze a kutatási eredményeket és tegyen javaslatot a megfelelő forrasztási paraméterekre furatszerelt alkatrészek esetében	

Nyilatkozat

Alulírott, Bárány Panna, mechatronikai mérnök alapszakos hallgató kijelentem, és a dolgozat feltöltésével egyidejűleg nyilatkozom, hogy a Forrasztás minőségét elősegítő, újszerű tisztítási eljárások összehasonlító elemzése című szakdolgozatot a Pannon Egyetem Mérnöki Kar, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézetében készítettem a Mechatronikai mérnöki alapszak (B. Sc. in Mechatronics) oklevél megszerzése érdekében.

Kijelentem, hogy a szakdolgozatban foglaltak saját munkám eredményei, és csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével, a műnek az MK Dolgozat - Dokumentum kezelő és véleményező rendszerbe való feltöltésével más jogát nem sértem.

Tudomással bírok arról, hogy az Egyetem a szerzői jogok meglétét nem köteles ellenőrizni, de amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot nem magam készítettem, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, illetve a dolgozatot korábban más oktatási intézményben is benyújtottam, úgy a Pannon Egyetem a dolgozatot elutasíthatja és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.

Tudomásul veszem, hogy

- Szerzői jogsértés esetén az Egyetem az érintett dokumentum elérhetőségét szerzői jogsértés tisztázása idejére átmenetileg korlátozhatja,
- Szerzői jogsértés esetén az érintett művet a MK Dolgozat - Dokumentum kezelő és véleményező rendszer adminisztrátora haladéktalanul eltávolítja.

Tudomásul veszem, hogy a szakdolgozatban foglalt eredményeket a Pannon Egyetem, valamint a feladatot kiíró szervezeti egység saját céljaira szabadon felhasználhatja, titkosított dolgozat esetén kizárólag a titkosításra vonatkozó idő lejártát követően.

Kelt: Zalaegerszeg, 2023. december 12.

Aláírás: Bárány Panna

Nyilatkozat

Alulírott Dr. Lukács Attila témavezető kijelentem, hogy a szakdolgozatot Bárány Panna a Pannon Egyetem Mérnöki Kar, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézetében készítette a Mechatronikai mérnöki alapszak (B. Sc. in Mechatronics) oklevél megszerzése érdekében.

Kijelentem, hogy a szakdolgozat védelemre bocsátását engedélyezem.

Kelt: Zalaegerszeg, 2023. december 12.



témavezető

Tartalmi összefoglaló

Napjainkat jelentősen meghatározzák az elektronikai eszközök használata, de egyidejűleg fontos, hogy ezek a technológiák fenntarthatóak legyenek a bolygónk védelme érdekében. A szakdolgozatom témája éppen azokat az elektronikai panelekhez kapcsolódó forrasztástechnológiákat vizsgálja, amelyek elősegítik a fenntarthatóságot.

Tanulmányom első részében áttekintettem napjaink forrasztástechnikájának legelterjedtebb technológiáit, legfrissebb folyasztszer szabványait, majd piaci kitekintést végeztem azok alkalmazási trendjeinek azonosítása érdekében. Ismertettem a klasszikus, illetve újszerű tisztítási eljárásokat, különös hangsúlyt fektetve a szakirodalom által már igazoltan az egyik legkönyezetkímélőbb technológiára, az ún. plazmatisztításra.

Dolgozatom második részében a furatszerelt (TH) alkatrészeken vizsgáltam a plazmakezelés hatását különböző folyasztszerek eltérő koncentráumai mellett. Az előkezelt alkatrészeket egy, a nedvesítési erő mérésén alapuló (Wetting Balance), forraszthatósági teszt elvégzésével minősítettem. A nedvesítési görbe kiértékelésre, a téma szakirodalmából ismert, két kvantitatív vizsgálati módszerrel elemeztem adataimat. Feltérképeztem a különböző nitrogén-hidrogén gázösszetételből előállított plazmákkal elérhető felületkezelési eredményeket. A plazmakezelés nélküli esetet tekintettem a mindenkor referencia értéknek. Sikerült meghatároznom egy olyan kedvező gázkeverék - paraméter beállítást, amellyel a felére csökkent a jelenleg felhasznált folyasztszer mennyisége.

Végül ezt az technológiát és más az ipar által meghatározott tisztítási eljárásokat (CO₂ -, lézeres felülettisztítás) alkalmazva értékeltem az egyes forrasztásokat. Az értékeléshez helyi ionos szennyezettséget (Forsite C3/CI) mértem, illetve mikroszkóppal, röntgennel és keresztmetszet vizsgálattal jellemeztem az egyes paneleket.

Kulcsszavak: THT, plazmatisztítás, CO₂ felülettisztítás, lézeres felülettisztítás, fenntarthatóság

Abstract

Our days are significantly defined by the use of electronic devices, but it is equally important that these technologies are sustainable for the protection of our planet. The topic of my thesis examines soldering technologies related to electronic panels that promote sustainability.

In the first part of my study, I reviewed the most common soldering technologies, the latest standards in soldering fluxes and then conducted a market study to identify application trends. I have described both classical and new cleaning methods, with a special emphasis on one of the most eco-friendly technologies (proven by the literature), the so-called plasma cleaning.

In the second part of my thesis, I investigated the effect of plasma treatment on through-hole (TH) devices with various concentrations of different fluxes. I qualified the treated parts by conducting a solderability test based on the measurement of the wetting balance. For objective comparison I analysed my data using two quantitative test methods known from the subject literature. My research mapped the surface treatment results achievable with plasmas produced from different nitrogen-hydrogen gas compositions. During the comparisons, I used the case without plasma treatment as the reference value. I determined a favourable gas mixture - parameter setting that halved the amount of flux currently in use.

Finally, using this technology and other industry-defined cleaning methods (CO₂ cleaning, laser surface cleaning), I evaluated each soldering result using a localized electronics cleanliness tester (Forsite C3/CI) and a visual analysis, which included microscopic inspection, X-ray analysis and a cross-sectional study.

Keywords: THT, plasma cleaning, CO₂ cleaning, laser surface cleaning, sustainability

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	1
1.1	Téma indoklása	1
1.2	Rövidítés és jelölésjegyzék	3
2	Szakirodalmi áttekintés	4
2.1	Furatszerelés és forrasztási metódusok.....	5
2.2	Folyasztószerek szabványai.....	7
2.2.1	Folyasztószerek csoportosítása.....	9
2.2.2	Folyasztószerek piaci kitekintése	13
2.3	Tisztítási eljárások	14
2.4	A plazmaállapot, plazmatisztítás a felületszerelésben	16
2.4.1	A plazmák csoportosítása	18
2.4.2	Plazmaberendezés szerepe a felületkezelésben	19
2.5	Lézeres tisztítás.....	20
2.6	Szárazjeges tisztítás	21
2.7	A panelbevonatok	22
2.7.1	HASL panelbevonat	23
2.7.2	ImSn panelbevonat	23
3	A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata.....	24
3.1	A kísérlet változó paramétereinek meghatározása.....	24
3.2	A kísérlet körülményei.....	25
3.3	A kísérlet elvégzésének lépései	26
3.4	A mérési eredmények feldolgozásának lépései	30
3.5	A plazmakezelési módszerek a különböző hígítású folyasztószerek függvényében történő kiértékelése.....	32
3.6	A plazmakezelési módszerek értékelése, következtetések	40
4	A tisztítási eljárások összehasonlítása.....	45
4.1	Az egyes tisztítási kezelések paraméterei és körülményei	46
4.1.1	Plazmatisztítás	47
4.1.2	Lézeres tisztítás	47
4.1.3	Szárazjeges tisztítás	48
4.2	A forrasztás menete	48
4.3	Helyi ionos szennyezettség mérés	49
4.4	A forrasztási eredmények értékelése	52
4.4.1	Vizuális megfigyelés	55
4.4.2	Kondenzátorok és ellenállások (R,C_).....	57
4.4.3	Hosszú és rövid csatlakozó (J1, J2).....	61
4.4.4	Keresztmetszeti vizsgálat	63
5	Összefoglalás, javaslattelemek, további kutatási területek megjelölése	68
	Irodalomjegyzék.....	70

Mellékletek.....	75
Köszönetnyilvánítás	92

1 Bevezetés

Mindennapjainkat behálózzák a különböző elektronikai eszközök használata. Nehéz elképzelni, hogy ne bonyolítsunk le napi több hívást, vagy küldjünk e-maileket számítógépünk segítségével. Gondoljunk bele, mennyi nehézséget okozna, ha nem tudnánk használni autónkat vagy háztartási gépjeinket. Ezen elektronikai technológiával ellátott eszközök optimális működéséhez elengedhetetlen azok elektronikai áramköreinek megfelelő kialakítása.

Az elektronikai áramkörök különböző alkatrészekből és a köztük lévő elektromos kapcsolatot létrehozó nyomtatott huzalozású szerelőlemezből állnak. A lemezen való mechanikai rögzítésre és a villamos összekötés biztosítására nyújt lehetőséget a forrasztástechnika. A forrasztás minőségét 3 fő tényező határozza meg: hő, fémötvözet és folyasztószer. A forrasztástechnikai iparban e paraméterek változtatásával igyekeznek ideális kötések kialakítani az alapfémek között. A jó kötés alapvető feltétele továbbá a felületi tisztaság, melynek elérésére számtalan tisztítási eljárás áll rendelkezésre.

1.1 Téma indoklása

A forrasztás minőségét befolyásoló tényezők közül a folyasztószer összetételére, felhasznált mennyiségére irányul a legtöbb fellelhető új kutatás, amelynek oka, hogy annak maradéka ionos szennyeződés, ami jelentősen csökkenti a késztermék élettartamát, vagy szélsőséges esetekben azonnali selejtet termel. Továbbá, a meglévő technológiák teljeskörű cseréje nem csak bizonytalan, de túlságosan nagy költséggel járna a vállalatok számára, azonban ökológiai és ökonómiai szempontokból kénytelenek azokat fejleszteni.

Így, fő célul tűztem ki egy olyan tisztítási eljárás megtalálását, mellyel a forrasztástechnika fenntarthatóbbá válhat. Új megoldást jelenthet a plazmakezelés alkalmazása, a gyártási sorba történő integrálása, melynek hatását a furatszerelt alkatrészekre fókuszálva vizsgálom. A panelszerelésben használt folyasztószer mennyisége így töredékére csökkenhet, a forrasztási minőség megőrzése mellett. A plazmatisztítás kapcsán négy kutatási kérdést teszek fel.

Bevezetés

K1: Milyen plazmatisztítási paraméterek mellett érhető el a legjobb forrasztási eredmény?

K2: Van-e különbség az egyszeres és többszörösen plazmakezelt alkatrészek forrasztása között?

K3: Meghatározó-e a folyasztószer oldószere a furatszerelt alkatrészek forrasztásakor, ha plazmatisztítási technológiát is alkalmazunk a gyártás során?

K4: Csökkenthető-e, és ha igen mekkora mértékben a felvitt folyasztószer mennyisége plazmatisztítás használata mellett?

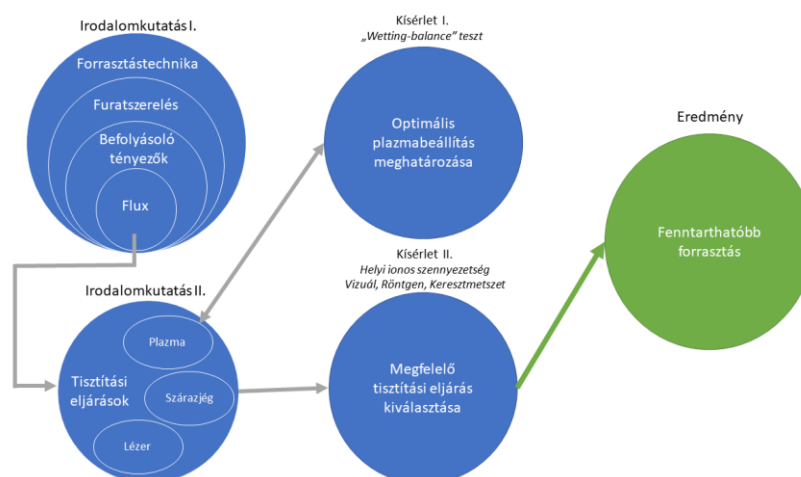
Továbbá ipari kitekintést végezve a plazmatisztítás hatékonyságát két másik tisztítási eljárással (CO₂, lézer) hasonlítom össze, mely során a folyasztószer mennyiségét nyolcadára csökkentem a jelenleg felhasznált ipari mennyiséghez viszonyítva. Ezen panelek forrasztási eredményeivel kapcsolatban további két kérdést teszek fel.

K5: Csökken-e azoknak a paneleknek a helyi ionos szennyeződése melyeken új tisztítási eljárást alkalmaznak?

K6: Van, és ha igen mekkora mértékű különbség a HASL és ImSn forraszthatósága között?

K7: Az új eljárásokat alkalmazva hasonló forrasztási eredmény érhető-e el, mint a jelenlegi gyártásban?

A fentiek alapján a dolgozatomat az alábbi módon építettem fel:



1. ábra: Fenntartható a forrasztástechnika? – „Út a fenntarthatóság felé” kutatási ábra

[saját ábra]

Bevezetés

Először áttekintem a forrasztástechnika alapvető fogalmait, különös hangsúlyt fektetve a furatszerelésre, és az azt befolyásoló tényezőkre. Ezen tényezők között nagy figyelmet fordítok a folyasztószerre, és az annak problémái megelőzésére szolgáló tisztítási eljárásokra.

Kísérleteket végezek először a plazmatisztítás paraméterbeállításaira, majd az itt meghatározott eredmények figyelembevételével összehasonlítást végzek a CO₂ és lézertisztítási folyamatokkal, melyek paramétereit ipari javaslat alapján definiáltam.

1.2 Rövidítés és jelölésjegyzék

Rövidítés	Magyar megnevezés	Angol megnevezés
THT	furatszerelt technológia	through-hole technology
THD	furatszerelt alkatrész	through-hole device
SMT	felületszerelt technológia	surface mount technology
SMD	felületszerelt alkatrész	surface mount device
NYÁK/PCB	nyomtatott áramkörü lap	printed circuit board
RoHS	veszélyesanyag-tartalmi korlátozás	Restriction of Hazardous Substances
WEEE	elektromos és elektronikus berendezések hulladékai	Waste from Electrical and Electronic Equipment
PIP	-	pin-in-paste
ISO	Nemzetközi Szabványügyi Szervezet	International Organization for Standardization
IES	Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság	International Electrotechnical Commission
ANSI	Amerikai Nemzeti Szabványügyi Intézet	American National Standards Institute
-	forrasztási előforma	soldering preform
-	folyasztószer	flux
HASL	felületi önpermetezés	Hot Air Solder Leveling
OSP	szerves forrasztást javító bevonat	Organic solderability preservative
ImSn	immerziós ón	Immersion tin
ImAg	immerziós ezüst	Immersion silver

Szakirodalmi áttekintés

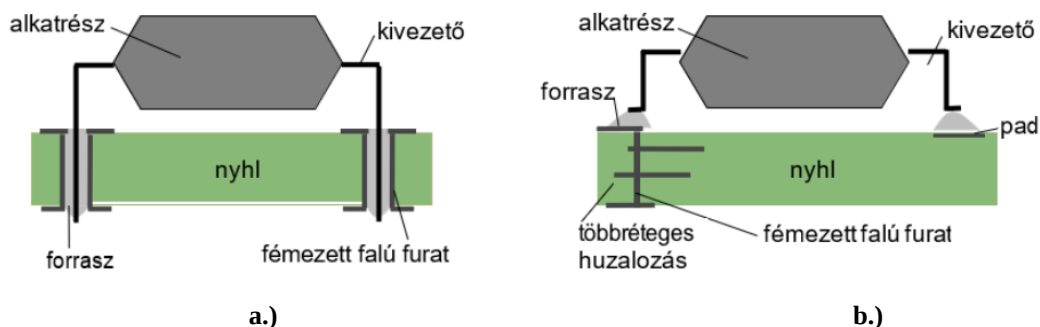
ENIG	„arany elnyelő eljárás”	Electroless nickel immersion gold
C	kondenzátor	capacitor
R	ellenállás	resistance
J1	hosszú csatlakozó	long connector
J2	rövid csatlakozó	short connector
-	alkatrész láb	pin
-	nedvesíthetőségi teszt	wetting balance test
-	forraszvisszahúzóadás	dewetting
FMEA	hibamód- és hatáselemzés	Failure Mode and Effects Analysis
SEM	pásztázó elektron mikroszkóp	Scanning Electron Microscopy
EDX	energiadiszperzív röntgenspektrométer	Energy Dispersive X-Ray
IMC	intermetallikus határreteg	intermetallic compound

2 Szakirodalmi áttekintés

A következő fejezetben áttekintést nyújtok az elektronikai technológia alapfogalmaira. Először a kutatási terület alapjául szolgáló elektrotechnikai ismereteket mutatom be. Az elektronikai szereléstechológiában két módszert alkalmaznak:

- Furatszerelési technológia (THT – Through Hole Technology);
- Felületszerelési technológia (SMT – Surface Mount Technology).

A jelenlegi trendek szerint a nyomtatott huzalozású lapokra ültetett alkatrészek 95%-át felületszerelik, vagyis az alkatrészeket egy paszta rétegre helyezik majd azt újraömléssel közvetlen a lap felszínére forrasztják. Ennek az eljárásnak ugyanis nagyobb a helykihasználtsága, ami a miniatürizálás világában egy nélkülözhetetlen tulajdonság. Sok integrált áramkörű alkatrész csak ilyen tokozásban érhető el a piacon. A felületszerelt alkatrészek (2. ábra b.)) (SMD – Surface Mount Device) beültetésével az áramkörök gyorsabban szerelhetők. A technika sajátossága, hogy a helymegtakarítás érdekében a hordozó rétegei közötti elektromos átvezetéseket használnak, úgynevezett via-kat (elnevezése a latinból ered, utat jelent). [1] [2] [3]



2. ábra: Furat- és felületszerelt alkatrészek nyomtatott huzalozású lapon [1]

2.1 Furatszerelés és forrasztási módszerek

Kutatásom során részletesebben a furatszerelési technikával (2. ábra a.)) foglalkozom. Ezt leginkább olyan esetekben használják, amelyekben fontos a szorosabb kapcsolat kialakítása a rétegek között. Az átmenő furatú alkatrészlábak átfutnak a táblán, lehetővé téve az alkatrészek számára, hogy ellenálljanak a különböző környezeti terheléseknek. Éppen ezért a TH technológiát leggyakrabban a katonai és repülőgépipari termékeknél használják, amelyek szélsőséges gyorsulásnak, ütközésnek vagy magas hőmérsékletnek vannak kitéve. Léteznek, olyan áramkörtáblák, amelyek forrasztása esetén a technológiákat vegyesen alkalmazzák, mert bizonyos alkatrészek súlyukból adódóan igénylik a lábakkal történő biztosítást. Ide tartoznak a teljesítménytranszisztorok, a nagy kapacitású kondenzátorok, tekercsek, transzformátorok a csatlakozók nagy része és más mechanikai elemek. A furatszerelt technológia olyan teszt- és prototípus-készítési alkalmazásokban is hasznos, amelyek néha kézi beállításokat és cseréket igényelnek, hiszen sokkal átláthatóbbak. [1]

A THT eljárást alkalmazva a nyomtatott áramkör alkatrészeinek kivezetéseit (amelyek lehetnek merevek vagy hajlékonyak) a szerelendő oldal furataiba helyezik, majd a panel másik oldalán (a forrasztási oldalon) leforrasztják. A jobb nedvesítés érdekében a forrasztandó felületeket folyasztószerrel vonják be, majd előmelegítik, végül pedig egy vagy két forrasztóanyag-hullámon átvezetik. Ez az úgynevezett hullámforrasztás, ami az egyike a használt technológiáknak. Fontos kritérium, az RoHS irányelv, mely az Európai Unió által előírt szabályozás az elektromos és elektronikus berendezésekben használt veszélyes anyagokra. E direktíva miatt a mai forrasztóanyagok túlnyomó része nem tartalmaz ólmot, az ilyen

Szakirodalmi áttekintés

forraszanyagokkal kb. 240-250 °C-on végzik a forrasztást. A kötések létrehozása után a nyomtatott áramköri panelt lehűtik. [4] [5]

A kialakított kötés akkor mondható megbízhatónak, ha annak létrehozásakor adott a fémtiszta felület, megfelelő összetételű forraszanyag és folyasztószer, jól megválasztott forrasztóeszköz és eljárás, valamint a hozzájuk tartozó hőmérséklet. Mindezeknek együttesen és egyszerre kell megvalósulnia.

Környezetvédelmi okokból a felvitt forraszanyag mennyiségét igyekeznek csökkenteni, emiatt egyre gyakoribb az úgynevezett szelektív hullámforrasztás, hiszen ez jól paraméterezhető a forrasztandó felületnek megfelelően, így a forraszanyag csak a furatszerelt alkatrészek kivezetéseit érinti. Ez történhet úgy, hogy a meglévő hullámforrasztó berendezésben keretben rögzítik a már felületszerelt panelt, mely védelmet biztosít a már rajta lévő SMD alkatrészek számára, vagy egy külön erre szolgáló berendezést használnak. Ilyenkor, a forraszanyag adagolása egy adott pontban fúvóka segítségével kerül felvitelre, ami a kivezetések alatt mozog. [6]

Ezen kívül jelenleg még két további nagyipari módszer szolgál a THT esetében az alkatrészek rögzítésére az egyik a pin-in-paste (PIP) újraömllesztés a másik a forrasztási preform használata.

A PIP módszert alkalmazva a furatszerelt alkatrészeket a felületszerelt alkatrészekkel egyszerre lehet forrasztani. Ekkor a pasztát nem csak a panel azon részeire viszik fel, ahová a felületszerelhető alkatrészeket kívánják elhelyezni, hanem a lyukakba is. Ez történhet cseppadagolással vagy stencilnyomtatással. Ezután a furatszerelhető alkatrészeket elhelyezik a furatokban, majd a forraszpasztát megömlesztik. [7]

A forrasztási preform gyakorlatilag egy szilárd halmazállapotban, különböző geometriai formában kapható forraszanyag, mely már tartalmazza a szükséges folyasztószert. Ezt közvetlen a forrasztás helyére teszik. A két technika kombinációjával optimalizálható a forrasztás, jelentősen csökken a folyasztószer felhasznált mennyisége. [8]

A fent említett eljárások közül a számunkra megfelelő kiválasztásához elengedhetetlen azok előnyeinek és hátrányainak elemzése, mind gyártásidő, mind folyamat- és eszköz költség szempontjából. Nem elhanyagolható tényező a

Szakirodalmi áttekintés

gyártandó termékek száma, összetettsége, bonyolultsága, alkalmazási területe. Ezeket az információkat foglalja össze az M-1. táblázat.

Ezen ipari eljárások mellett egyedi, kis mennyiségben gyártott termékek esetén további eljárásokat szoktak alkalmazni. Ide tartozik a furatok más anyaggal való feltöltése, mechanikai rögzítése, valamint a villamos kötések pontforrasztással történő kialakítása. Ezek a technológiák olcsóbbak, azonban jelentősen hosszabb időt igényelnek és nem olyan precízek, mint a korábbiakban leírtak. Ezeket az eljárásokat az M-2. táblázat mutatja be.

2.2 Folyasztószeres szabványai

A megfelelő forrasztási kötések létrehozásához elengedhetetlen a felületek jó nedvesíthetősége, így a továbbiakban a kémiai folyasztószereket jellemzem. Ezek elsődleges feladata éppen a forraszfelületek nedvesítése és a forraszanyag szétterülésének elősegítése. Ez viszont a forrasztott kötés létrejöttének pillanatában be is fejeződik. Használatával tiszta forraszfelületet hozhatunk létre, csökkenthetjük az olvadék felületi feszültségét, javíthatjuk a hőátadást és teljesen kizárhatjuk a környezet oxidáló hatását. Másodlagos feladatként a folyasztószer maradéka a kötés felületét és környezetét bevonja, ott védőréteget képez, de a túlzott mennyiség maradéka már káros, ekkor ionszennyeződésről beszélhetünk.

Tanulmányomban több nemzetközi, ipari szabvány besorolását mutatom be, melyek ismerete segíti a rendszerben való gondolkodást.

Az ISO 9454 szabványsorozata foglalkozik a folyasztószerek klasszifikációjával, előírásaival. Az 1. része kémiai összetétel alapján osztályozza a folyasztószereket, míg a 2. részben a rájuk vonatkozó teljesítménybeli előírások vannak összefoglalva. Ezeket a 3. táblázatban mutatom be.

1. táblázat: Folyasztószerek osztályozása – ISO 9454 alapján

[saját szerkesztés [9] [10] alapján]

Flux típusa	Alapanyag	Aktivátor	Halmazállapot
1. Gyantás	1. Természetes gyanta 2. Természetes gyanta mentes	1. Aktivátor mentes 2. Halogén-aktivátorral 3. Halogénmentes	A folyadék B szilárd C paszta
2. Szerves	1. Vízoldható 2. Nem vízoldható	1. Aktivátor mentes 2. Halogén-aktivátorral 3. Halogénmentes	

Szakirodalmi áttekintés

3. Szervetlen	1. Sók	1. Ammónium-klorid 2. Ammónium-klorid nélkül	
	2. Savak	1. Foszforsav 2. Egyéb sav	
	3. Lúgok (alkalikus)	1. Aminok és/vagy ammónia	

Az IEC 61190 1-3 szabványsorozatnak szinte teljes mértékben megfeleltethető a MSZ EN 61190 magyar szabvány. A MSZ EN 61190 1 előírásai analógok az amerikai ANSI J-STD-004 szabványéval. Ezeket a szabványokat a fent látható ISO szabvánnyal a 4. táblázat hasonlítja össze. [9] [10] [11]

2. táblázat: Folyasztószerek osztályozása – MSZ EN 61190, IEC 61190 1-3 és ISO 9454 1-2 összehasonlítása

[saját szerkesztés [9] [11] [10] alapján]

Hordozó	Folyasztószer-aktivitás (halogén-tartalom, %)	Folyasztószerek osztályba sorolása		
		IEC szerint	MSZ EN 61190 szerint	ISO szerint
Természetes gyanta - RO (rosin)	Alacsony (0%)	ROLO	L0	1.1.1
	Alacsony (<0,5%)	ROL1	L1	1.1.2.W, 1.1.2.X
	Mérsékelt (0%)	ROM0	M0	1.1.3
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	ROM1	M1	1.1.2.Y, 1.1.2.Z
	Magas (0%)	ROH0	H0	1.1.3.X
	Magas (>2%)	ROH1	H1	1.1.2.Z
Mesterséges gyanta - RE (resin)	Alacsony (0%)	RELO	L0	1.2.1
	Alacsony (<0,5%)	REL1	L1	1.2.2.W, 1.2.2.X
	Mérsékelt (0%)	REM0	M0	1.2.3
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	REM1	M1	1.2.2.Y, 1.2.2.Z
	Magas (0%)	REH0	H0	1.2.3.X
	Magas (>2%)	REH1	H1	1.2.2.Z
Szerves - OR (organic)	Alacsony (0%)	ORL1	L0	2.2.1, 2.2.3.E
	Alacsony (<0,5%)	ORL1	L1	-
	Mérsékelt (0%)	ORM0	M0	-
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	ORM1	M1	2.1.2, 2.2.2
	Magas (0%)	ORH0	H0	2.2.3.0
	Magas (>2%)	ORH1	H1	2.2.2
Szervetlen - IN (inorganic)	Alacsony (0%)	INL0	L0	Nem feleltethető meg a többi besorolásnak
	Alacsony (<0,5%)	INL1	L1	
	Mérsékelt (0%)	INM0	M0	
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	INM1	M1	
	Magas (0%)	INH0	H0	
	Magas (>2%)	INH1	H1	

Szakirodalmi áttekintés

Rádai (2010) az alábbi módon csoportosítja a folyasztószerke alkotórészeit:

- hordozó, vagy „test” anyag, bázis,
- aktivátorok,
- oldószer,
- egyéb adalékok.

Ez alapján könnyebb a fenti szabványok értelmezése. A bázis lehet gyanta, műgyanta, szerves vagy szervetlen anyag.

A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet az 1. táblázatban látható módon először számmal megjelöli a hordozó típusát, majd a következő számmal specifikálja azt. A Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság jelölésrendszerében az első két betű együttesen fejezi ki a fő típust.

Valójában a folyasztószer érdemi munkáját az aktivátor végzi. A jó forrasztás alapfeltétele egy fémtiszta felület létrehozása. Ez kémiaileg reakcióképes, általában aktív szerves vegyületek távolítják el a felületi oxidréteget és a további esetleges szennyeződéseket.

Az ISO és az IEC másként közelíti meg jelölését. Előbbi egy harmadik számmal tünteti fel, hogy tartalmaz-e és, ha igen milyen aktivátort, majd X, Y, Z betűjelöléssel azonosítja annak tömegszázalékát a folyasztószerben. Utóbbi egy harmadik betűvel a fennmaradó folyasztószer aktivitására utal: H-magas, M-közepes, L-alacsony ionaktivitást jelöl. A szám pedig a halogéntartalmat jelöli (1-tartalmaz, 0 - nem tartalmaz). Általánosan elmondható, hogy a halogén tartalmú folyasztószerke aktívabbak, így jobban nedvesítenek, azonban így nagyobb a kockázata a fennmaradó szennyeződésnek, illetve a korrózióknak.

2.2.1 Folyasztószerke csoportosítása

A folyasztószerke további csoportosításának megértéshez és a számunkra megfelelő kiválasztásához ismerni kell azok 3 fő attribútumát. Ezek a jellemzők azok, amelyek meghatározzák, hogy forrasztás után szükséges-e a forrasztott NYÁK-ok további tisztítása. (Előbbi meghatározása azonban nem egyértelműen előírt, az egyes termékek elfogadhatósági szintje annak rendeltetésétől is függ.) [12]

Szakirodalmi áttekintés

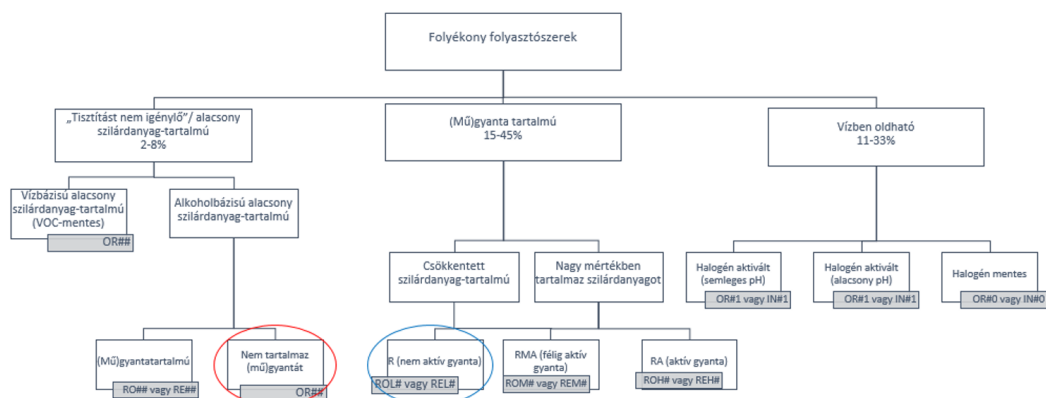
Tehát, a 3 fő tulajdonság:

- a hordozó anyag típusa,
- fennmaradó anyag ionaktivitása,
- szilárdanyag-tartalom.

Az első alapján alapvetően megkülönböztetünk két altípust - aktív és semleges hordozóanyagokat. Az aktív hordozóanyagok már önmagukban is folyasztószernek tekinthetők. Az utóbbi kettő tulajdonság alapján a forrasztás annál biztosabbnak mondható, minél alacsonyabb az értékük. [9] [13]

A hordozó anyag típusával és a fennmaradó anyag ionaktivitásával a korábban bemutatott szabványbesorolások foglalkoznak, míg a szilárdanyag-tartalmi csoportosítást a továbbiakban ismertetem.

A klasszikus értelemben vett folyasztószeresek nagymértékben tartalmazznak gyantát, vagyis a szilárdanyag-tartalmuk magas. Az új törekvések ennek csökkentésére irányulnak: létrehozták a piacon a „No Residue” (maradékmentes), „Low Residue” (csekélymaradékú), vagy „No Clean” (tisztítást nem igénylő) jelzőkkel hirdetett folyasztószereseket, melyek a korábbiakhoz viszonyítottan csökkentett szilárdanyaggal rendelkeznek (15-45% gyantatartalomhoz képest 2-8% szilárdanyag). Az innovációk célja a fennmaradó folyasztószer utólagos káros hatásainak minimalizálása, illetve a forrasztás utáni tisztítási procedúrák elhagyásának lehetővé tétele, ami azonban a gyakorlatban nem minden esetben kivitelezhető. [9] [13]



3. ábra: Folyasztószeresek szilárdanyag-tartalom szerinti csoportosítása

[saját szerkesztés [12] alapján]

Szakirodalmi áttekintés

Mint azt a 3. ábra szemlélteti, az egyes csoportok alatt megjelennek a betű-szám kódjelű azonosítók, melyek akár átfedést is mutathatnak, mert a szilárdanyag-tartalom nem mutatkozik a jelölésrendszerben. Így folyasztszer vásárláskor érdemes annak adatlapját is elolvasni.

A három fő megkülönböztethető csoport a „tisztítást nem igénylő”, a (mű)gyantatartalmú és a vízben oldható folyasztszerek, melyeket a következőkben részletesen bemutatom, előnyeiket és hátrányaikat táblázatos formában ismertetem.

1. „Tisztítást nem igénylő”

A szilárdanyag-tartalom csökkentése érdekében két újfajta bázist fejlesztettek ki (az oldószer tölti be a bázis/hordozó funkciót). Az egyik vízbázisú (de ezek nem feltétlen vízben oldhatóak), a másik alkoholos. Az alkoholtartalmúak között még megkülönböztetünk olyanokat, amik kis mértékben tartalmaznak gyantát, illetve abszolút gyanta mentesek. A „Tisztítást nem igénylő” folyasztszerek, kifejezetten közkedveltek az iparban, kísérleteim elvégzéséhez éppen ezért választottam a 3. ábra-n pirossal jelölt csoportba tartozó IF 2005C alkoholbázisú folyasztszert. [12] [14]

3. táblázat: „Tisztítást nem igénylő” folyasztszerek előnyei és hátrányai

[saját szerkesztés [12] alapján]

„Tisztítást nem igénylő”	
Előnyök	jó – nagyon jó forrasztási eredmény
	kevesebb forrasztás utáni maradék - lehetséges a tisztítás elhagyása
	alacsonyabb előmelegítési folyamatokat tesz lehetővé
	a változatos folyasztszer választék változatos alkalmazási területeket fed le
	könnyen kezelhető
Alkoholbázisú alacsony szilárdanyag-tartalmú	nagyon tisztán ég el
Vízbázisú (VOC-mentes)	nincs illékony oldószer, aktívabb és hosszabb "élettartamot" biztosít a gyanta (műgyanta) tartalmával, vagy alkoholossal szemben
Hátrányok	kisebb aktivitás és folyamatablak, a gyanta (műgyanta) tartalmú és vízben oldhatóval szemben
	magas hőmérsékletű alkalmazásoknál nehézségek jelentkezhetnek, ezzel csökken a folyamatablak
	előfordulhat, hogy szükséges további tisztítás, nem kívánt és nem biztonságos a maradékanyag
Alkoholbázisú alacsony szilárdanyag-tartalmú	rövidebb "élettartam"
Vízbázisú (VOC-mentes)	több előmelegítést igényel, így szükségtelenül megnövelheti a ciklusidőt
	nem feltétlenül olyan tiszta, mint az alkoholos

Szakirodalmi áttekintés

Az ide sorolható folyasztószer azéért tehetek szert nagy népszerűsége, mert széles körben alkalmazhatóak, könnyen kezelhetőek, illetve jelentősen kisebb mennyiség marad fenn belőlük a forrasztás elvégezte után, ezzel csökkentve a további tisztítási eljárások környezetre káros hatását és materiális hozadékát.

2. Műgyantatartalmú

A gyantatartamúak között megtalálhatóak a klasszikus 35-45%-os szilárdanyaggal jellemezhető folyasztószer, illetve a csökkentett gyantatartalmúak, melyek szilárdanyag-tartalma 15-20% közé tehető. Ezeket a folyasztószerket tovább lehet csoportosítani a gyanta aktivitása szerint: nem aktív, fél-aktív és aktív. A kísérletem során a szélesebb körű információ gyűjtés végett méréseket végeztem a 3. ábra-n kézzel jelölt alcsoportba tartozó 95-DRX-M+ vízbázisú, gyantatartalmú folyasztószerrel is. [12] [15]

4. táblázat: Gyanta (műgyanta) tartalmú folyasztószer előnyei és hátrányai

[saját szerkesztés [12] alapján]

Gyanta (műgyanta) tartalmú	
Előnyök	nagyon jó - kitűnő forrasztási eredmény
	nagyon jó - kitűnő nagy megbízhatóságot igénylő alkalmazásokkor
	nagyon jó - kitűnő magas hőmérsékletű alkalmazások esetén
	hosszú "élettartam"
Hátrányok	több előmelegítést igényel
	a maradványokat el kell távolítani - eljárás és gépterület költségek
	a berendezések karbantartást igényelnek és nehézségeket okozhat a további folyamatokban: ICT, AOI, stb.
	gyakran szükség lehet a folyasztószer felvivő karbantartására
	egyes alkalmazásokban a maradványok megbízhatósági aggályokat vetnek fel

A gyantatartalmú folyasztószerket használják legrégebb óta iparban, ebből adódóan már egy nagyobb tapasztalati tudástár áll rendelkezésre róluk, azonban ezek a folyasztószer hagyják maguk után a legmagasabb szilárdanyag tartalmú maradékot.

3. Vízben oldható

A vízben oldható folyasztószer újabb csoportot alkotnak, melyek alapja nem feltétlenül víz. Az ide sorolható folyasztószerket halogén tartalmuk alapján tovább

osztályozhatjuk. A számunkra megfelelő folyasztószer kiválasztásakor külön aspektus a „VOC” - illékony szerves vegyület tartam, amelyet azért érdemes és kell vizsgálni, mert nagy környezetvédelmi jelentősége van, ezért azt az Európai Unió több jogszabálya is szabályozza. [12]

5. táblázat: Vízben oldható folyasztószer előnyei és hátrányai

[saját szerkesztés [12] alapján]

Vízben oldható	
Előnyök	kitűnő forrasztás - széles folyamatablak
	kitűnő nagy megbízhatóságot igénylő alkalmazásokkor - függ a tisztítási eljárástól és termék elvárásoktól
	használható magas hőmérsékletű alkalmazások esetén
Hátrányok	több előmelegítést igényel
	a maradványokat feltétlen el kell távolítani - eljárás és gépterület költségek
	a tisztítási folyamatot folyamatosan figyelni kell az ionvándorlás tekintetében
	a tisztítási folyamatot folyasztószer gyártó által előírt időn belül el kell végezni
	fokozott gépkarbantartás - vegyileg károsítja a berendezéseket
	szennyezi a hordozókat és egyéb munkafelületeket
	szükség lehet a folyasztószer felvivő és maga a folyasztószer fejlesztésére
	enyhe maradványok lokális hibát idézhetnek elő

A vízben oldható folyasztószer a többi folyasztószerhez képest több utólagos tisztítást igényelnek, mert korróziós problémát okozhatnak, ennek pedig eszköz és energiaköltsége számottevő. Ettől függetlenül az általa létrehozható kiváló forrasztási felület ígéretes, ezért van még létjogosultsága a forrasztástechnikában.

2.2.2 Folyasztószer piaci kitekintése

Annak érdekében, hogy a korábban bemutatott folyasztószer típusok felhasználási tendenciáját meghatározzam, Európa 3 jelentős folyasztószer gyártójának kínálatát elemzem, melyek közvetlen Magyarországra is kihatással vannak. Az Interflux, a Balver Zinn – Cobar és a Henkel vállalatok mind fontos értéküknek tekintik a fenntarthatóságot és nagy hangsúlyt fektetnek az innovációra. Az M-3. M-4. és M-5. táblázatokban összegyűjtöttem az egyes folyasztószer kiemelkedő tulajdonságait, javasolt alkalmazási területét, a hordozó anyag típusát, a fennmaradó anyag ionaktivitását és szilárdanyag-tartalmát.

Mint azt a fent említett mellékletek mutatják a piacot a „Tisztítást nem igénylő”/Alkohol bázisú folyasztószer uralják. A kísérleteim elvégzéséhez, így

egyértelmű volt, hogy egy ilyen típusú folyasztószert választok. Választásom az Interflux által forgalmazott (a 3. ábra-n pirossal jelölt) IF 2005C (ORL0) esett. A Balver Zinn – Cobar által gyártott (a 3. ábra-n kékkel jelölt) 95-DRX-M+ (REL0) folyasztószert, pedig azért használtam a plazmaparaméter meghatározása során, mert az átfogó kép kialakításhoz, fontosnak tartottam, egy a hagyományos gyantatartalmú csökkentett szilárdanyag-tartalommal rendelkezők közül is kiemelni egyet. A döntésemben az is szerepet játszott, hogy a jó eredményütköztetéshez, a két folyasztószer bázisa/oldószer eltérő legyen, ennek pedig eleget is tesznek, mert előbbi bázisa alkohol, utóbbié részben szintetikus gyanta és részben víz. Mindemellett mindkét folyasztószer megfelel a napjaink döntő iparát meghatározó ólommentes forrasztás által előírt feltételeknek, illetve környezetbarátok, nem tartalmaznak halogéneket.

Továbbá, az általam választott folyasztószereket indokolja a kutatási témámban vizsgált forrasztási eljárás. Az IF 2005C különösen ajánlott szelektív forrasztáshoz, alkalmas helyi adagoláshoz (drop jet), a konform (forrasztás gátló) bevonatokkal pedig teljes mértékben kompatibilis. A 95-DRX-M+ pedig kifejezetten hullámforrasztáshoz kifejlesztett folyasztószer. [14] [15]

2.3 Tisztítási eljárások

A folyasztószer fő használati céljának kiváltására több új eljárást hoztak létre, kezdtek használni az iparban, hiszen rendkívül fontos a gyártott termék megbízhatósága. Új tendencia továbbá az elektronikai berendezések és alkatrészek gyártásában és karbantartásában a termék élettartamának növelése mellett, az általa alkalmazott felületmódosítási, tisztítási eljárás megválasztásakor a fenntarthatóság.

Az egyes tisztítási eljárások alkalmazásával eltávolíthatóak a különböző felületi szennyeződések, oxidáció, por, piszok lerakódás, mely a megfelelő teljesítmény és a jobb megbízhatóság szempontjából nélkülözhetetlen. A szennyeződés mértékétől függően a forrasztás utáni hiba lehet a rövidzárlat kialakulásának (dendritképződés), mely a tisztítási folyamatokkal megelőzhető, de legalábbis kialakulásának gyakorisága csökkenthető.

Az elektronikai eszközöknek gyakran szigorú biztonsági és környezetvédelmi előírásoknak kell megfelelniük. A tisztítási folyamatok részét képezhetik az ilyen

Szakirodalmi áttekintés

előírásoknak való megfelelésnek, például az ártalmas anyagok eltávolításával vagy az elektromos hibák megelőzésével.

A két legegyszerűbb eljárásnak tekinthető a mechanikai felületmódosítás, illetve vegyi tisztítás, melyek egyre inkább leváltásra kerülnek, leginkább a környezetvédelmi előírások miatt.

1) Mechanikai felületmódosítás:

Bizonyos alkalmazások esetében (pl. vastagréteg) a kötendő felület érdessége túl nagy a megfelelő fémes kötés kialakításához. Ezen mechanikai csiszolással, karcolással segíthetünk. [1]

2) Vegyi tisztítás

Az áramköröket erre speciálisan kifejlesztett vegyi oldatokkal tisztítják, majd az öblítési fázisban ioncserélt vízzel öblítik. Az elsődleges szennyeződés, amit az eljárás során eltávolítanak, az nem az oxid-réteg, hanem a megégett folyasztószer. Ha túl sokáig volt magas hőfokon, előfordulhat, hogy nem tudják eltávolítani. Gyakran alkalmazott tisztító folyadékok közé sorolható az IPA – izopropil alkohol, illetve a különböző vízbázisú tisztítószer. [1]

A panel tisztítására továbbá különböző sugarak vagy hullámok kibocsátásával működő berendezéseket használnak, melyekből néhányat a teljesség igénye nélkül az alábbiakban ismertetek.

3) Ultrahangos tisztítás:

A berendezés nagyfrekvenciájú hullámokat bocsát ki a tisztítóoldat folyadékfürdőjébe, ami több milliárd apró buborék felrobbanását okozza, és fizikailag eltávolítja a NYÁK-on lévő valószínű szennyeződéseket, ez a folyamat kavitáció néven ismert. A tisztító oldat összetétele általában valamilyen vízbázisú tisztítószer + desztillált (esetleg ioncserélt) víz. [1]

4) UV besugárzás + ózon:

Általában 184,9 és 253,7 nm-es UV fényt használnak. Az ilyen UV fény az oxigén molekulák és szerves vegyületek kötéseit felszakítja, ezáltal elősegítve az

Szakirodalmi áttekintés

oxidációjukat, mely során a szerves szennyeződések CO₂ és vízgőz keletkeznek, amelyek gázként eltávoznak a felületről. [1]

5) Plazmatisztítás:

Egy új környezetbarát, fenntartható eljárás, mely során ionizált gázt (alkotógázt) vezetnek a tisztítandó felületre, az a felületen lévő szennyeződésekkel új vegyületet alkot és „távozik” a felületről. [16]

6) Lézeres tisztítás:

Hasonlóan a plazmatisztításhoz, egy új környezetbarát megoldás, mely kémiai úton módosítja a kezelendő felületet. Indirekt lézer besugárzással különböző lencsetörésekkel, roncsolás mentesen eltávolítható a fennmaradó esetleges szennyeződés a forrasztást követően. [16]

7) Szárazjéges tisztítás

A szárazjég-robbantás roncsolásmentes módszer a felületek biztonságos tisztítására és / vagy a nem kívánt bevonatok eltávolítására. Az eljárás nem hagy hátra semmilyen másodlagos szennyeződést. A módszert általában azonban nem előzetes, hanem a forrasztás követve utólagos szennyeződések eltávolítására használják gyakrabban, hiszen csak fizikai módosítás jön létre a felületen. [17]

Dolgozatomban forrasztási kísérleteket alkalmazva az utóbbi három eljárás hatását hasonlítom össze, így ezeket részletesen is ismertetem, különös figyelemmel a plazmatisztításra, melynek előzetes paraméter meghatározását szintén taglalom a későbbiekben.

2.4 A plazmaállapot, plazmatisztítás a felületszerelésben

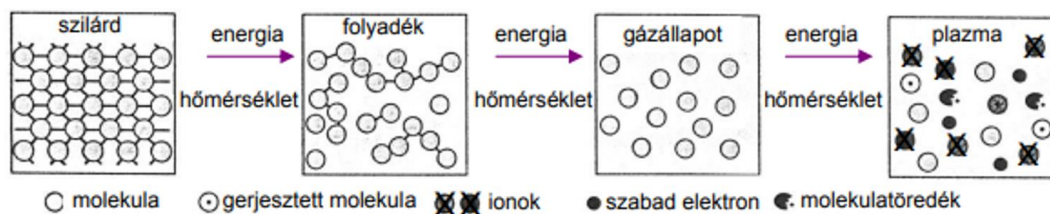
A folyasztószer fő használati céljának kiváltására több új eljárást hoztak létre, kezdtek használni az iparban. Többek között ilyen újszerű törekvés a plazmatisztítás. Alkalmazásával a panel és az alkatrész felületén lévő oxidréteg átalakítható, eltávolítható.

Thanu és társai 2019-ben teljeskörű kutatást végzett a plazmákról. Rámutatnak a plazmatisztítás jelentőségére az orvosi eszközök sterilizálásában (a jelenlegi fertőtlenítő szerek kiváltására, vagy az azokból fennmaradó szennyeződések

eltávolításában), továbbá feltérképezték hatékonyságát az elektronika és az optika területén, vizsgálták hatékonyságát többek között félvezető anyagokon és polimerek felületén. Bizonyították, hogy a technológia megfelel az EU WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) direktívájának, mivel a plazmatechnikák abszolút nem vagy csak csekély mennyiségű hulladékot termelnek. Állításuk szerint a plazma alkalmazása a kulcsfontosságú folyamatok tisztítás paramétereinek optimalizálásával drasztikus teljesítményjavulást eredményezhet szinte minden területen. [18] [19]

Az univerzum anyagának jelentős része plazma állapotú, a szakirodalom ezt a negyedik halmazállapotnak is szokta nevezni. A fizikában plazmának azt hívják, amikor valamilyen gáz ionizált állapotba kerül, ezzel magyarázható, hogy a plazma a gázokra jellemző tulajdonságokkal rendelkezik. Érzékeny az elektromágneses terekre vagy reagál az ilyenfajta manipulálásokra, valamint vezeti az áramot. [20]

A plazma a közvetlen környezetünkben, a mindennapi életben is több helyen előfordul, ezek közül talán legismertebb a légköri kisülések, hétköznapi nevén a villámlások. Továbbá mesterségesen, ember által előállított formában, már csupán a műszaki világ felhasználói oldalán is rendszeresen találkozhatunk vele. Például a plazmakijelzőkben, neoncsövekben, fénycsővekben, vagy a fázisceruzában, de plazmát használnak plazmamarásnál, villamos ívhegesztésnél, vagy sok esetben részecskegyorsítóknál. [20]



4. ábra: A plazma, mint negyedik halmazállapot [21]

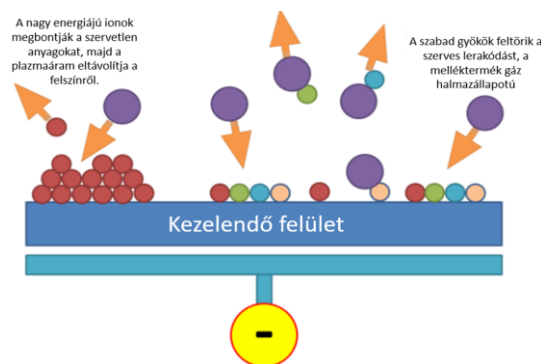
A plazma – mint ahogy a korábbiakban említettem – ionizált gáz (4. ábra). Az „ionizált” itt azt jelenti, hogy az anyag atomjairól egy vagy több elektron leszakad, ezáltal a plazma a levált szabad elektronok, szabad gyökök és a megmaradt ionok keveréke. A plazma szót ionizált gázokra először Langmuir alkalmazta 1929-ben. [22]

Tulajdonképpen a plazma akkor keletkezik, ha egy gáz nagyon magas hőmérsékleten kerül ionizált állapotba, ez pedig több módon is kivitelezhető.

Szakirodalmi áttekintés

Sasmazel és társai (2021), példaként azt az esetet elemelték ki, mely során áramot (egyen vagy váltakozó) folytatnak át egy alacsony nyomású (atmoszférikus) gázon, így létrejön benne egy olyan gágréteg, ahol hirtelen hatalmas energia szabadul fel (ez vezet az elektromos kisüléshez). A 3 lejátszódó folyamat a gerjesztés, ionizáció, disszociáció. A plazma huzamos idejű fenntartásához éppen ezért van szükség jelentős mennyiségű energiára.

A gázok ionizálása többlépcsős is lehet, vagyis az ionizálás mértéke az elektronhéjak számától függően változtatható (pl. $N \rightarrow N^+ \rightarrow N^{++}$ vagy $Ar \rightarrow Ar^+ \rightarrow Ar^{++} \rightarrow Ar^{+++}$). Ilyen esetekben nagyobb energiára van szükség és a plazmahőmérséklet is megnő. [16]



5. ábra: A plazma hatása a kezelendő felületre [saját szerkesztés [23] alapján]

A plazmával történő felületkezelés hatásának lépéseit:

1. A felületi szennyeződések feloldódnak
2. A szennyeződés eltávolítódik
3. A felületi molekulakapcsolatokkal kölcsönhatás alakul ki
4. A felület aktívvá válik

A felületi határrétegbe, nagy energiával csapódnak a plazma részecskéi, itt új kötéstípusokat, funkcionális csoportokat hoznak létre, ezzel növelve a felületi energiát. [24] [25]

2.4.1 A plazmák csoportosítása

A valóságban a teljes részecskesűrűség csak egy hányadát teszi ki az ionok, jellemzően atomokat és molekulákat is tartalmaz az elegy, így az ionizációs tényező (hány százaléka ion) értéke szerint két jellegzetes plazmatartományt lehet megkülönböztetni:

Szakirodalmi áttekintés

- fizikai plazmák vagy „nagyértékben” ionizáltak, melyek ionizációs tényezőjének közel 1, és hőmérsékletük 10^7 °C nagyságrendű (pl. magfúziónál)
- technikai vagy technológiai plazmák vagy „kismértékben” ionizáltak, melyek ionizációs tényezőjének értéke jellemzően 10^{-4} -nél kisebb, és hőmérsékletük 5000 – 50000 °C közötti tartományba esik (pl. anyagmegmunkálásnál).

Forrasztás technológiai alkalmazás szempontjából tehát az utóbbi típusba sorolható plazmát érdemes vizsgálni. [16]

A plazmákat nem csak az ionizáció mértéke (hőmérséklet) szerint lehet osztályozni, a szakirodalomban, gyakran lehet találkozni az alábbi csoportosításokkal [20]:

nyomás szerint:

- nagy
- alacsony (vákuum)
- légköri (hideg)

gerjesztés szerint:

- alacsony frekvenciás: 40-50 kHz
- rádiófrekvenciás: 13,56 MHz
- mikrohullámú: 2,54 GHz

2.4.2 Plazmaberendezés szerepe a felületkezelésben

A plazmagenerátort legtöbbször egyenáramú tápegységről működtetik. A plazmagenerátorokban katódként (negatív pólus) tóriumozott volfrámelektrodát, anódként (pozitív pólus) egy hengeres furatú rézfúvókát (gyűrűt) vagy magát a munkadarabot alkalmazzák. A kettő közötti keskeny részen áramlik keresztül a plazmaképző gáz. Az elektrodák közötti nagyfeszültségű, nagyfrekvenciás szikrakisülés fent említett szűk csatornájában kialakul az úgynevezett plazma ív, melyet a gázáramlás, illetve a mágneses tér stabilizálja. Tehát, a plazmaív az elektróda-elektroda vagy az elektróda és munkadarab között létrejövő villamos ív és egy keskeny furaton nagysebességgel keresztülmenő gáz egyszerre fellépő, közös hatására jön létre, úgy, hogy a gázáram a vele azonos tengelyű elektromos ívet összehúzza. Az első esetben nem átvitt ívről (belső ívről), vagyis plazmasugárról, a második esetben átvitt ívről (külső ívről), vagyis plazmaívről

beszélünk. Az elsődleges tényezők, amik meghatározzák a plazmaív vagy plazmasugár teljesítményét, koncentrátságát, a megmunkálandó felületre jutó teljesítménysűrűséget az a plazmafúvóka átmérője és kialakítása, a plazmagáz fajtája és térfogatárama, illetve a védőgáz fajtája. [16]

A plazmaívet befolyásolja a plazma- és a védőgáz összetétele, előbbiek hőmérséklete és térfogatárama, illetve esetleg fókuszáló gáz alkalmazása. A fúvóka hűtésével szintén szabályozható. Az áramlás belső mozgását az eszköz teljesítménye határozza meg. Az iparban a lamináris (párhuzamréteges) áramlást preferálják a turbulens (örvényessel) szemben mert annak kedvezőbb a hőmérséklet-eloszlása, előbbi azonban nagyobb teljesítményt igényel. [16]

Alapvetően minden plazmát használó berendezésben megtalálhatók a következő részek: fő és segédív tápegység, gázellátó-egység: plazmagáz (vivőgáz), védőgáz, plazmagenerátor gyújtóegység és hűtőegység, beállító- és vezérlőegység, illetve szivattyú és poradagoló. A más-más célt szolgáló gépeket mindössze a fenti elemek paraméterei különbözteti meg. [16]

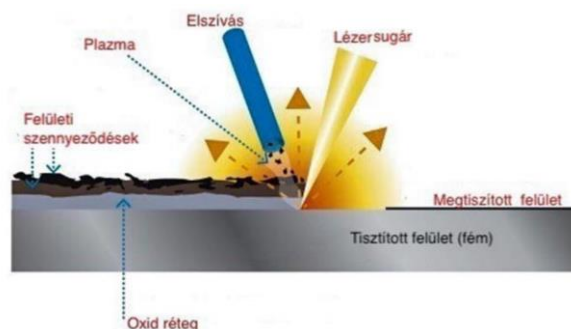
A plazmaberendezés használata legnagyobb ökológiai és műszaki tudományi hasznot a forrasztás technológia gyártásban a folyasztószer elsődleges feladatának kiváltásával jelentene.

2.5 Lézeres tisztítás

Először a lézeres felületkezeléseket három fő csoportba osztották. Ezek közé tartozott a hevítés (hőkezelés), az olvasztás és a szilárdítás. Ez a csoportosítás azon az elven alapult, hogy a kezelés során a felület eléri-e az olvadáspontját, vagy alatta marad. Egy másik csoportosítás szerint megkülönböztetünk szerkezet módosítással járó eljárásokat és kémiai összetételt megváltoztató kezeléseket. [26]

A felülettisztítás során a lézerfényt használjuk munkaeszközként. Amint a lézernyaláb eléri a felületet, a szennyeződés vagy az alatta lévő oxidréteg elnyeli a sugárzás energiáját (6. ábra). A lézernyaláb és a munkadarab termikus kölcsönhatása során az elnyelt energia hőenergiává alakul az anyagunkban. Ennek következtében beszélhetünk az anyag megolvadásáról, párolgásáról és végül plazma állapotba kerüléséről. A lézerfény által a szennyező rétegek teljesen

elpárolognak vagy eltávolíthatók a tiszta fém felületéről. Mivel a tiszta fém nem nyeli el a felületre érkező energiát, a tisztítási folyamat során nem sérül. [26]



6. ábra: A lézer hatása a kezelendő felületre [26]

2.6 Szárazjeges tisztítás

Alapvetően ún. "robbantásos tisztítás", mely egy a felület sűrített levegővel és a száraz jégrézecskekkel (általában szárazjég-pelletek formájában) való tisztítással takarja. A nyomás alatt lévő levegő és a szárazjég (CO₂-pellet) jelenléte a robbanás közben szublimációt eredményez. Ez a láncreakció lehetővé teszi a felület roncsolásmentes megtisztítását, így a szárazjég-robbantás előnyös tisztítási eljárássá válik, összehasonlítva más közeg-robbantási módszerekkel; például üveggyöngy, műanyag gyöngy vagy homokfűvás.

A tisztítás folyamata 4 alapvető tényezőt tartalmaz (7. ábra): [17]

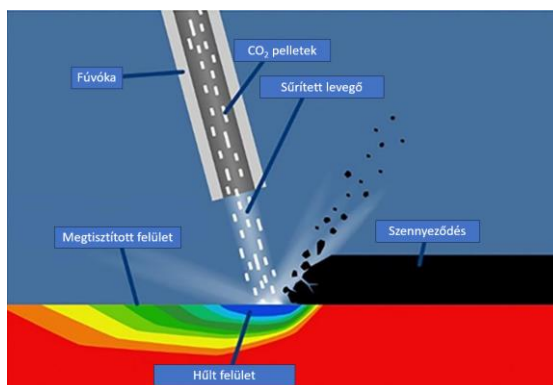
1. Mozgási energia (becsapódás) – A szárazjég mozgási energiájából származó lökéshullám az, amely a feltört réteget eltávolítja. A pellet sebessége nagyobb, mint a hang sebessége.

2. Hősokk – A hirtelen helyi „fagyasztás” (-79°C) hatására a térfogatváltozás (összezsugorodás) eltérő aránya nagyfokú hő feszültséget idéz elő a határfelületen, melynek következtében fellazítja az eltávolítandó réteget.

3. Szublimáció – a pellet halmazállapota sziládról gáz halmazállapotúvá válik miközben saját térfogata akár 800 szorosára is megnövekszik. Ez a robbanásszerű hatás eltávolítja a szennyeződést anélkül, hogy károsítaná a felületet. A pellet a szublimáció során eltávozik és csak a szennyeződés marad hátra, amely könnyedén eltávolítható.

Szakirodalmi áttekintés

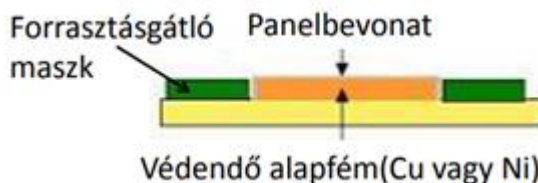
4. Ridegülés, töredezés – A szerves anyagok a lehűlés hatására felkeményednek, megridegülnek. Ez nem csak a szennyeződés szerkezetét gyengíti, de a tisztítandó felületünket is befolyásolja. Csökken az anyag rugalmassága és a tapadóképessége, ezáltal könnyebben leválasztható a felületről a szennyeződés. A felületen húzófeszültség, a felszín alatt pedig nyomófeszültség jön létre az anyagban, ezáltal hajszálrepedések keletkeznek. Ahogy terjednek a repedések, úgy kezd el feltöredezni a szennyeződés.



7. ábra: A szárazjeges tisztítás hatása a kezelendő felületre [saját szerkesztés [17] alapján]

2.7 A panelbevonatok

További forrasztást befolyásoló tényező lehet a panel gyártása során felvitt bevonat. Figyelnek a későbbi forrasztási körülmények megteremtésére. Ehhez forrasztásgátló lakkot visznek fel a felületre a réz mintázat kialakítást követően, amely védelmet biztosít a nem forrasztásra kialakított területeken. Tehát csak a forrasztandó felületek maradnak szabadon, amelyekre újabb réteg kerül, hiszen a réz rövid időn belül oxidálódik. Ezek a felvitt rétegek a forraszthatóság szempontjából fontosak. A réz forraszthatóságát fémes panelbevonatokkal: felületi ónpermettel (HASL), ezüst- vagy ónréteggel (Immerziós Ag és Sn), nikkel-aranyréteggel (ENIG) vagy szerves organikus bevonattal (OSP) növelik. Végül az alkatrészek rögzítésére kerülhet sor. [27]



8. ábra: A forrasztandó panel felülete forrasztásgátló és segítő bevonatozás után [27]

Szakirodalmi áttekintés

Dolgozatomban forrasztási kísérleteket alkalmazva a két ón bevonatot hasonlítom össze, így ezek előnyeit és hátrányait részletesen is ismertetem.

2.7.1 HASL panelbevonat

Fémes panelbevonat, elnevezése a Hot Air Solder Leveling angol kifejezésből ered. A HASL során a panel rézfelületeit 1-40 μm vastag forraszanyag réteggel borítják be. A forraszanyag (bevonat) lehet ólmos vagy ólommentes. A bevonat felhordása előtt a panelt tisztítják, majd flux-al kezelik, amely biztosítja a jó nedvesítést és segít eltávolítani az oxidréteget. A folyamat végén a felesleges forraszanyagot ún. forrólevegős kések (hot air knives) segítségével eltávolítják.

A HASL panelbevonatnak kétfajta gyártási módja van, a vertikális és a horizontális. A vertikális gyártás során a panelt függőlegesen merítik bele a forraszkádba. Hátránya a forraszmegegerszkedés, valamint a panelbevonat vastagsága és felülete egyenetlenebb. Előnye, hogy olcsó (horizontálishoz képest) és kisebb, egyszerűbb gyártó berendezést igényel. A horizontális eljárás nagyobb, drágább, bonyolultabb berendezést igényel, viszont sokkal egyenletesebb és jobb minőségű panelbevonatot tudunk képezni, valamint a folyamat során vékonyabb intermetallikus réteg alakul ki. Dolgozatomban során horizontálisan gyártott paneleket alkalmazok.

2.7.2 ImSn panelbevonat

Az immerziós ón (immersion tin) fémes, egyrétegű panelbevonat, Az ónréteg vastagsága jellemzően 0,8-1,2 μm . A rézrétegekre a bevonatot kémiai immerziós eljárással készítik. A panelt egy réz- és ón ionokat tartalmazó oldatba mártják. A kémiai folyamat tiokarbamid jelenlétében zajlik, mely rákkeltő hatású. Az oldat összetételét és hőmérsékletét folyamatosan kell ellenőrizni a megfelelő gyártási minőség érdekében.

Előnye, hogy gyártása relatíve költséghatékony, ha szükséges az ónréteg javítható. A bevonatra jellemző az egyenletes rétegvastagság és a síkfelület. Jól alkalmazható a press-fit technológiához, kiválóan nedvesíthető és forrasztható. Alkalmas finom osztású, (BGA) és kisebb méretű alkatrészek elhelyezésére.

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

Hátránya, hogy oxidációra hajlamos, kényes a panelkezelésre, kevésbé környezetbarát (ImAg-hez képest), valamint a bevonatra jellemző ónbajuszosodás (Tin Whiskering). Ezen felül a press fit technológiával gyártott paneleknél, a préselés hatására feszültség keletkezhet az ónrétegben, mely elősegítheti az ónbajusz képződését.

Jellemzően az ImSn bevonatot főként az egyoldalas paneleknél alkalmazzák. Pl. egy kétoldalas panel reflow forrasztása során a vékony ónbevonat túlnyomó része intermetallikummá alakul, gyorsan oxidálódik, így ezen felületekre már további alkatrészeket nem lehet forrasztani.

3 A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

A szerelt áramköri lapokon megtalálható alkatrészsűrűség és változó felület megnehezíti a felületkezelést. Mindezen kihívásokat tovább növeli az alacsonyabb költség iránti igény. A vegyes technológiájú áramköri lapok sikeres gyártásának egyik fő kihívása a megfelelő forrasztás, a furatos elemek esetében merül fel.

3.1 A kísérlet változó paramétereinek meghatározása

Az ideális folyasztószer mennyiség meghatározása érdekében 4 fő paraméter megváltoztatásának hatását vizsgáltam. Ezek nem mások, mint, a plazmakeverék összetétele, a plazma kezelési ideje, a folyasztószer bázisa és a folyasztószer felviteli mennyisége. A plazma kezelési eredményét továbbá olyan aspektusból is megvizsgáltam, hogy a kezelendő alkatrészlábakat, egyszeresen vagy kétszeresen tisztítottam meg.

A vizsgálatokat két különböző alkatrészen is végeztem: 0,5 mm lábátmérőjű kondenzátoron és 0,7 mm lábátmérőjű ellenálláson.

A fentieket az alábbiak szerint konkretizáltam.

Formálógáz típusok:

- Sűrített nitrogén-hidrogén gáz 5%-s hidrogén tartalommal.
- Sűrített nitrogén-hidrogén gáz 10%-s hidrogén tartalommal.

Plazma kezelési sebesség:

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

- 23 mm/s – normál sebesség – egyszeres kezelés
- 23 mm/s – normál sebesség – kétszeres kezelés
- 33 mm/s – gyorsított sebesség – egyszeres kezelés

Folyasztószer típusa, bázisa:

- folyasztószer alkalmazása nélkül,
- Cobar 95-DRX-M+ – vízbázisú,
- IF 2005C – alkoholbázisú.

A folyasztószer felviteli mennyiségét a folyasztószer koncentrációjának megváltoztatásával értem el. A hígítás az IF 2005C esetében izopropil-alkohollal, míg a Cobar 95-DRX-M+ esetén izopropil-alkohol és desztilláltvíz 1:1 keverékével történt.

Folyasztószer koncentrációja:

- 100%;
- 50%;
- 25%;
- 12,5%

3.2 A kísérlet körülményei

A kísérlet helyszínéül egy ipari partner laboratóriuma szolgált, a plazmakezelést a Plasmatreteat Openair FG 5001, RD1004 plazma forgófúvókával felszerelt berendezéssel végeztem (10. ábra). A forraszthatósági kísérletekhez pedig a MUST System 3 típusú eszközt alkalmaztam.

A vizsgált alkatrészek, mind az ellenállások (R) és mind a kondenzátorok (C) egy gyártótól egy beszerzés alatt kerültek megvásárlásra.

Plazma kezelés az alábbi körülmények között történt:

- raktár épületben, melyben nem volt lehetséges konstans hőmérséklet és páratartalom mellett végezni a kísérleteket

A forrasztási vizsgálatok alatt a labort és a mérést az alábbi körülmények jellemezték:

- labor hőmérséklet: 23 °C,
- labor páratartalom: 55-60 %,
- forrasztó ón hőmérséklete 250 °C,

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

- plazma kezelés és forrasztási vizsgálat között eltel idő: 25 perc

Továbbá a mérési eredményeket az alábbi tényezők befolyásolhatták:

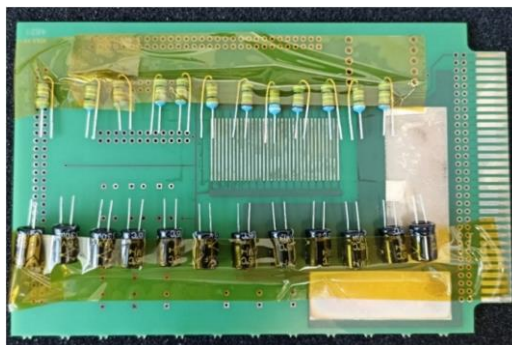
- az alkatrészek lábait műszerész csipesszel vágtam egyforma hosszúságúra plazmatisztítás előtt, mely befolyásolhatta a mérési eredményeket.
- a szállítás során és a plazma kezelés alatt nem voltak konstans hőmérsékleti és páratartalmi értékek, mely a laborban pára kicsapódást okozhatott. A szállítás a telephely udvarán történt.
- A vizsgáló berendezés érzékeny a rezgésekre (pl.: egy erősebben becsukott ajtó a diagramot eltorzíthatja)

3.3 A kísérlet elvégzésének lépései

Első lépésként a vizsgálandó alkatrészeket kellett előkészíteni, a lábaikat egyforma hosszúságúra volt szükséges vágni, ezzel biztosítva, hogy a forraszkádba merítéskor, a lábak egyforma mélyre kerüljenek merítve, ezzel lehetővé téve az összehasonlíthatóságot.

Az axiális ellenállások egy-egy lábát a könnyebb megfogatás érdekében a tok mellé hajlítottam, majd a lábak így lettek elvágva. Fontos kritérium volt továbbá a lábak párhuzamos helyzetbe történő állítása, annak érdekében, hogy a forraszkádba való merítés során a két láb egyszerre, merőlegesen keresztezze a forrasztó ón felületét.

Az előkészítés második lépéseként - a plazmakezelés előtt - az egyes alkatrészeket kapton szalaggal egy hordozón rögzítettem a 9. ábra-n látható módon.

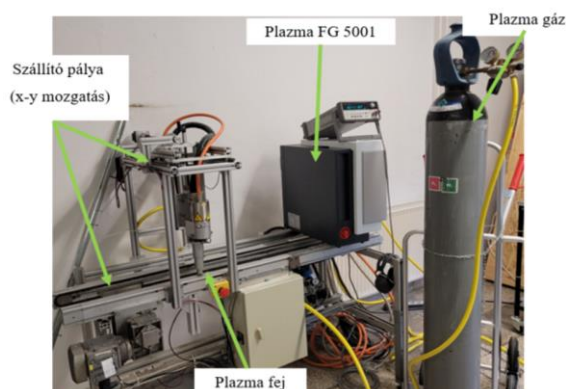


9. ábra: A plazmakezelés előtt az alkatrészek rögzítése [saját kép]

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

Ezen panel alkalmazása azért volt szükséges, hogy a teszt készülék pályájára fel tudjam helyezni a tisztítandó alkatrészeket, tovább a pozicionálást el tudjam rajta végezni. Így az alkatrészek lábainak helyzete plazmázáskor a plazma fej alatt minden alkalommal azonos, a plazmanyaláb egyforma felületen éri őket.

Harmadik lépés maga a plazmakezelés elvégzése volt, melyhez a Plasmatrear Openair FG 5001 Plasma generátort alkalmaztam RD1004 plazma forgófúvókás plazmafejjel (10. ábra), melyet hideg plazma előállítására használnak. Ez a plazmafúvóka különösen alkalmas termikusan érzékeny és geometriailag összetett felületek és anyagok kezelésére. A szabadalmaztatott forgórendszer egyenletesen osztja el a plazmahatást a kezelendő anyagokon. Az atmoszférikus plazmával végzett száraz plazmatisztítás lehetővé teszi az anyagok azonnali feldolgozását. Az alkalmazás tiszta és költséghatékony teljes felület-előkezelést tesz lehetővé. [28]



10. ábra: A kísérleti plazmaberendezés [saját kép]

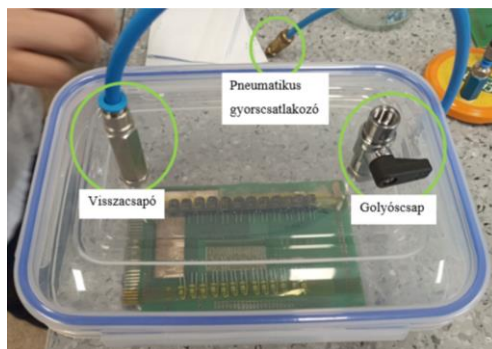
A tisztítás során a hordozó panelt mozog a szállítópálya segítségével X irányba, míg a plazma fejet Y irányú mozgást végez. X irányban szenzoros vezérléssel lépteti a panelt. Az Y irány mozgását 2 db jeladó vezérli, amelyre ha ráfut, a panelt lépteti a plazma fej méretével és ellentétes irányba folytatja a mozgást.

Z irányban a plazma fejet manuálisan lehet állítani, ezt a távolságot a tesztek során 10 mm-re állítottam a hordozó paneltől egy a géphez javasolt mérőhasáb segítségével.

Mivel a plazma- és a nedvesítési erőt mérő berendezés nem egy épületben voltak megtalálhatóak, ezért a plazmakezelt minták visszaoxidálás nélküli szállítására egy védőgázzal ellátott edény kialakítása volt szükséges.

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

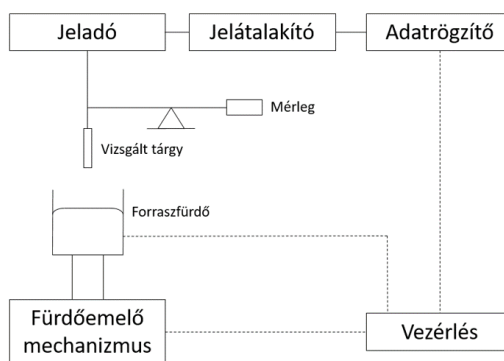
Egy tömítéssel ellátott éthordó edényt alakítottam át, úgy, hogy az edény tetejére egy gömbcsapot és egy gyorscsatlakozóval ellátott visszacsapó szelepet szereltem.



11. ábra: A szállítódoboz kialakítása [saját kép]

A gyorscsatlakozón keresztül plazmaképző gázt, mint védőgázt engedtem az előkezelt alkatrészekre. A golyós csap ilyenkor nyitva van, majd mikor elzárásra került a védőgáz a golyóscsapot is elzártam. A gyorscsatlakozó leválasztásakor a visszacsapó szelep akadályozza meg a védőgáz elillanását a térből. A hordozó panelről ezután mindig csipesszel került eltávolításra a minta közvetlenül a forraszhatósági vizsgálat előtt.

A szállítást követő, így ötödik lépés a laboratóriumi kísérlet, a nedvesítési erő mérési feladata volt. A mai, korszerű forraszthatóság-mérő gépek, mind a nedvesítési erő mérésén alapulnak, sémáját a 12. ábra szemlélteti.



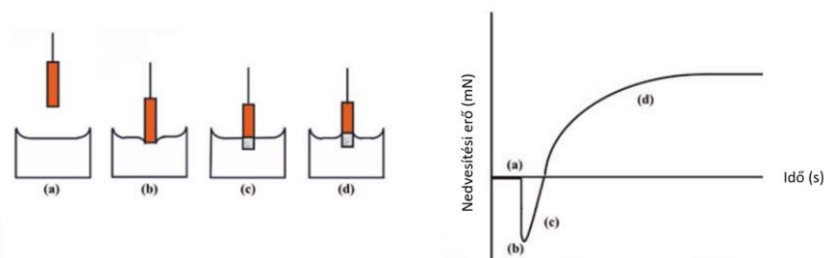
12. ábra: Nedvesítési erő mérés elvi vázlata [saját szerkesztés [29] [30] alapján]

A műszerbe csipesz segítségével lehet befogni a vizsgálni kívánt felületszerelt és furatszerelt alkatrészeket, valamint a NYÁK-ok forraszhatósági elemzésére is ilyen megfogatás szolgál. A mérőfejbe fogott tárgyat függőlegesen, megfelelően megválasztott sebességgel forraszfürdőbe merül, (vagy megömlesztett forraszccseppel kerül érintkezésbe) mindeközben állandó hőmérsékleten maradva.

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

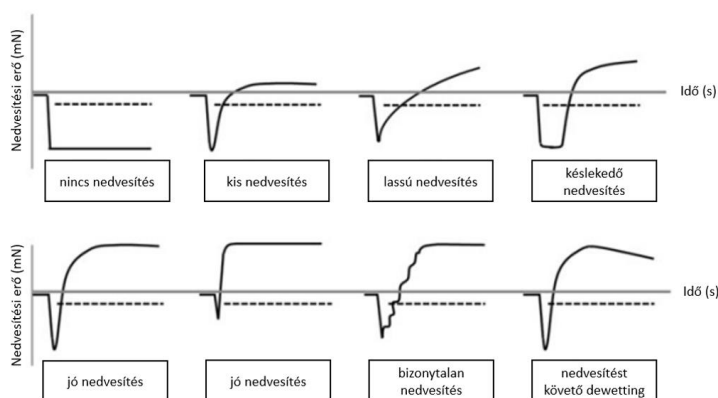
Ekkor a gép a nedvesítési erőt méri és egy LVDT jelátalakító segítségével digitális jel formájában rögzíti a nedvesítési görbét az idő függvényében. [30]

A nedvesítési görbe több jól elkülöníthető szakaszra bontható, ezeket mutatja be az alábbi ábra.



13. ábra: A nedvesítés folyamatának lépései és jelleggörbéje [saját szerkesztés [29] [30] alapján]

A 13. ábra-n látható, hogy az (a) szakasz során a vizsgálandó tárggyal megközelítik a forraszfürdőt. A (b) szakaszban felhajtóerő ébred az alkatrészen, és tart addig amíg a felületi feszültség hat, ekkor a nedvesítési erő mértéke a szenzor által negatívan értelmezett (nyomás). A valódi nedvesítés (c) ponton kezdődik meg, ekkor a nedvesítési szög éppen 90° , a „behorpadt” felszín kisimul, a diagramon ekkor metszi az x tengelyt, azonban a legpontosabb meghatározás egy úgynevezett korrigált nulla bevezetését igényli, ami valamennyivel a 0 pont alatt található. A (d) szakasz során a forraszanyag felkúszik a tárgy fémzésén, a szenzor ezt húzóerőként értelmezi, a görbe pozitív tartományba vált. [30]



14. ábra: Különböző jellegű mutató nedvesítési görbék [saját ábra [30] alapján]

A 14. ábra különböző eredményekre mutat példát, mint látható az eredmények egyértelműen kvalitatív módon kerülnek kiértékelésre, jó eredményre is több példa látható. A kis, lassú, bizonytalan vagy a dewetting (forrasz-visszahúzódás)

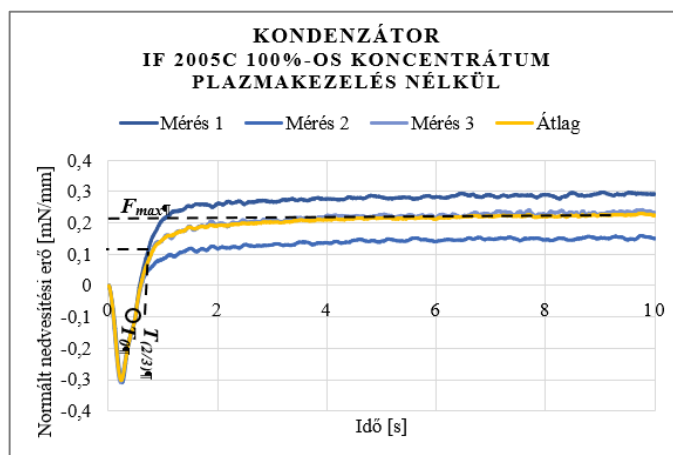
A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

jelenségét mutató eredmények ipari felhasználásra alkalmatlanok, az ilyen eredményt adó forrasztási paraméterekkel elkészített forrasztási kötés rövid élettartalmú, gyors meghibásodáshoz vezet.

3.4 A mérési eredmények feldolgozásának lépései

A két különböző alkatrészen minden paraméter beállítási kombinációt háromszor elvégezve, összesen 378db mérést futtattam. A nagy mennyiségű adathalmazból kinyert eredmények könnyebb összehasonlíthatósága érdekében a nedvesítési görbe elemzése mellett Xu és társai két 2015-ben kidolgozott kvantitatív kiértékelési módszerét alkalmaztam. A nyers adatokat egy pendrive-ra mentettem, mely szükség esetén elérhető.

Nulladik lépésként azonban a nedvesítési erőt mérő berendezés szoftvere által kinyert adatokat volt szükséges megfelelő módon átkonvertálni, hogy azt később Microsoft Excel szoftver segítségével kiértékelni tudjam. Egy alkatrész mérési ideje 10 másodperc, melyet a szoftver 2000 mérési pontra oszt fel, tehát 0,005 másodpercenként történt mintavételezés. Azért, hogy a különböző típusú alkatrészek nedvesítését össze lehessen hasonlítani a későbbiekben egymással, a nedvesítési erőt a bemerülő alkatrészek nedvesíthető kerületével normáltam (mN/mm). Az alkatrészek mindkét lába egyszerre került bemerítésre, így a 0,5 mm lábátmérőjű kondenzátor esetén 3,14-dal, még a 0,7 mm lábátmérőjű ellenállásnál 4,40-dal osztottam le az egyes időpontokban mért nedvesítési erő eredményét. Az azonos beállítású mérési eredményeket egy táblába rendeztem és az adatok átlagát vettem.



15. ábra: Nedvesítési görbe – mérési diagram [saját szerkesztés]

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

A pontmodell az átlaggörbe nevezetes pontjain alapszik, melyek nem másak, mint a nedvesítés kezdőpillanata (T_0), a maximális erő 2/3-ához tartozó időpillanat ($T_{(2/3)}$) és a maximális nedvesítési erő ($F_{\max}$). Ezeket a pontokat az XY átlagszemléltető ábra mutatja. Az egyes pontokat összetett Excel függvények segítségével nyertem ki.

Xu és társai az egyes nevezetes pontokat külön-külön minősíti, értéket rendel hozzá, majd ezeket összesíti. Az összpontszámokat skálázással, táblázatos formában értékeli, mely alapján kiváló, jó, elfogadható és rossz minősítést kaphatnak a görbék.

6. táblázat: Pontmodell értékelése [saját szerkesztés [31] alapján]

T_0 [s]	Pont	$T_{(2/3)}$ [s]	Pont	$F_{\max}$ [mN/mm]	Pont	Összpontszám	Értékelés
$T_0 > 3$	0	$T_{(2/3)} > 3$	0	$F_{\max} \leq 0,1$	0	9-10	kiváló
$T_0 > 2$	1	$T_{(2/3)} > 2$	1	$F_{\max} > 0,1$	1	7-8	jó
$T_0 > 1$	2	$T_{(2/3)} > 1,5$	2	$F_{\max} > 0,2$	2	4-6	elfogadható
$T_0 \leq 1$	3	$T_{(2/3)} > 1$	3	$F_{\max} > 0,3$	3	0-3	rossz
		$T_{(2/3)} \leq 1$	4				

Az integrálmodell azt veszi alapul, hogy a T_0 pillanattól vett görbe az, ami a valójában vett nedvesítést jellemzi, így az ez alatti terület értékét 3-mal megszorozva minősíti azt egy 5 fokozatú skálán. Az integrált trapézmódszerrel számítottam. Az értékelési rendszert kidolgozó kutatócsoport azért javasolja a 3-mal való szorzást, mert így a megfigyeléseik alapján analóg, vagy legalábbis nagyon hasonló eredmények kaphatóak a pontmodellel.

7. táblázat: Integrálmodell értékelése [saját szerkesztés [31] alapján]

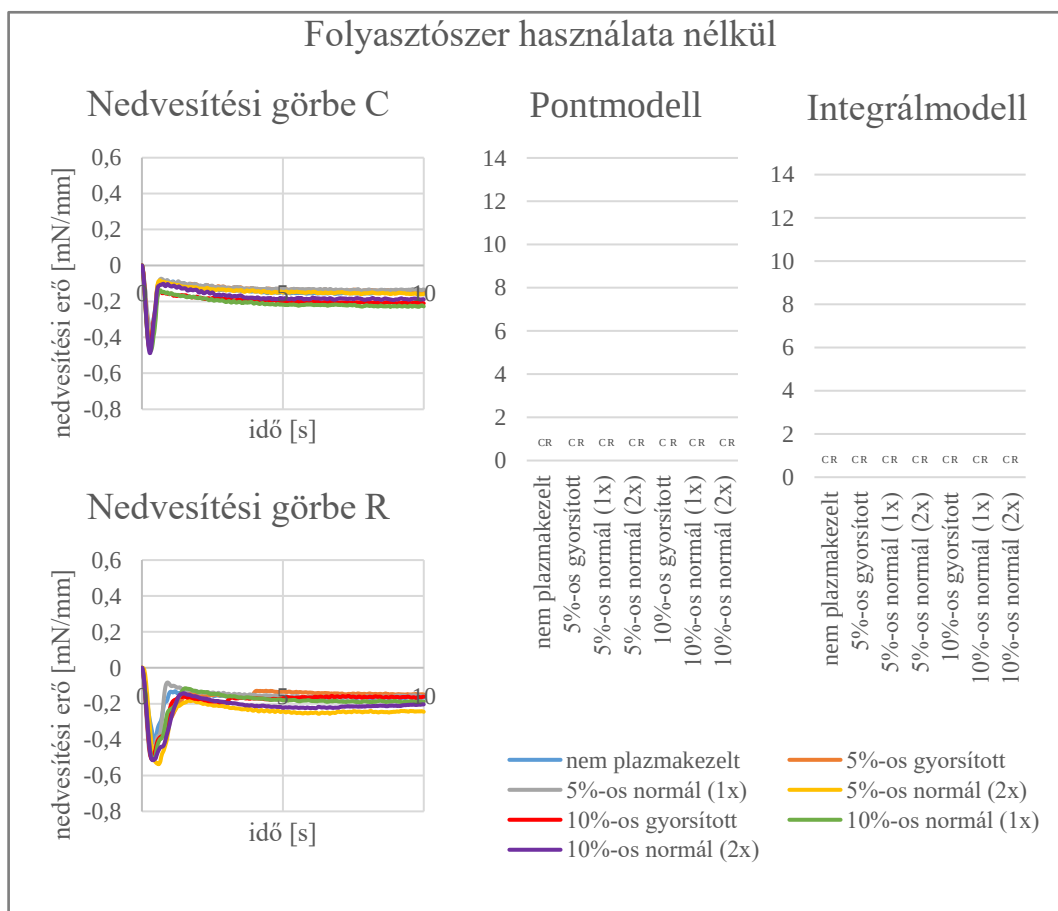
Területintegrál	Értékelés
> 9	kiváló
> 7	jó
> 4	elfogadható
> 2	rossz
≤ 2	nagyon rossz

3.5 A plazmakezelési módszerek a különböző hígítású folyasztószeres függvényében történő kiértékelése

A korábbiakban ismertetett lépések alapján az egyes alkatrészekre külön-külön alkalmazva ismertetem az egyes modellek szerinti eredményeimet.

A szemléltető ábrák elrendezését valamennyi folyasztószer koncentrációjánál azonos módon építettem fel. Az összefoglaló ábra „oszlopos” elrendezésre bontható: a bal oldali oszlopban a már normált – így összehasonlítható – jelleggörbék találhatók (felső – kondenzátor, alsó – ellenállás); a középső oszlopban a pontmodell szerinti értékek, még a jobb oldali oszlopban az integrálmodell által kapott eredmények oszlopdiagramja látható. A nedvesítési erőt mindig a $(-0,8) - (0,6)$ mN/mm tartományban, még a modellek szerinti értékeket egy 0-tól 14-ig terjedő intervallumon ábrázoltam, így 15.-23. ábrák szintén összevethetővé válnak.

a) Folyasztószer használata nélkül

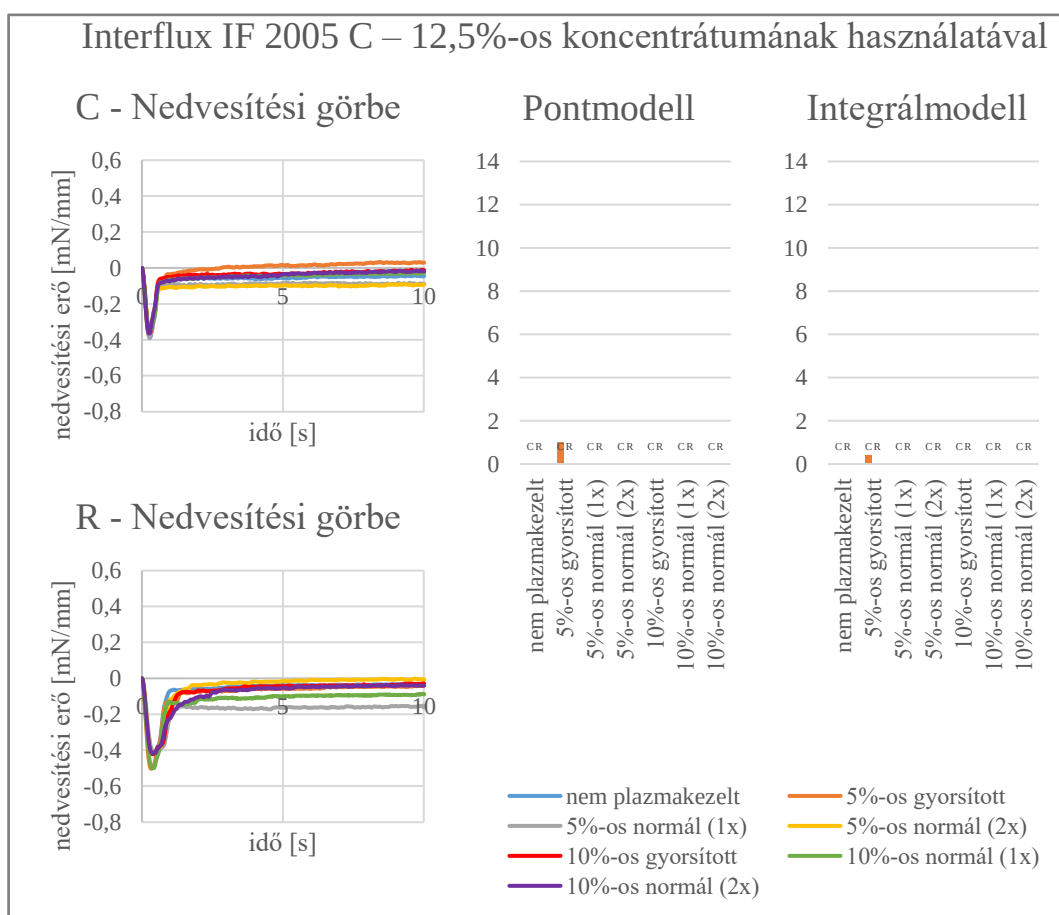


16. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – folyasztószer használata nélkül [saját szerkesztés]

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

Először a plazmakezeléseket bármilyen folyasztószer használata nélkül hasonlítottam össze (16. ábra). A két jelleggörbét megvizsgálva, már előre tudható, hogy a két modell nem fog látható eredményt adni, hiszen valódi nedvesítés nem következik be, sőt a dewetting jelensége is megfigyelhető. A plazmatisztítás önmagában nem bizonyul hatékonynak.

A folyasztószer mentes eset után az alkoholos bázisú folyasztószerrel végzett kísérletek eredményeit részletezem. Először a jelenleg használt folyasztószer mennyiség 1/8-ának megfelelő 12,5%-os folyasztószer koncentráció használata mellett figyelem meg a plazmakezelések hatását, majd az 1/4-ének, 1/2-ének és egészének alkalmazása esetén is elemzem azokat.

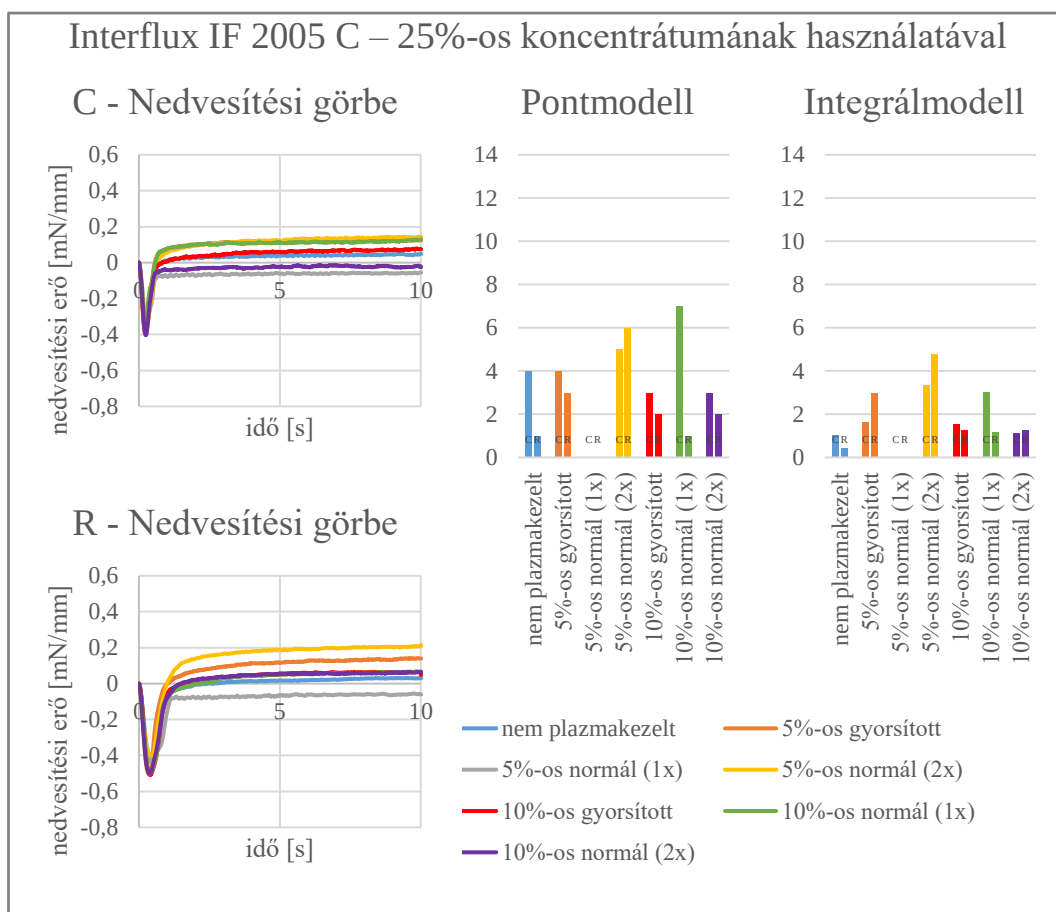


17. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 12,5%-os koncentrációjú alkohobázisú folyasztószer használatakor [saját szerkesztés]

A 17. ábra jelleggörbéin látható17. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 12,5%-os koncentrációjú alkohobázisú folyasztószer

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

használatakor, hogy nedvesítési erő továbbra is negatív tartományban marad, egyedül az 5%-os gyorsított plazmával sikerült kondenzátor esetén egy kismértékű nedvesítést elérni. Megjegyzendő, hogyha a korrigált 0-tól, vagyis a valódi nedvesítés megkezdésétől számolom az egyes modellek értékét, akkor kismértékű nedvesítésről minden esetben beszélhetünk.

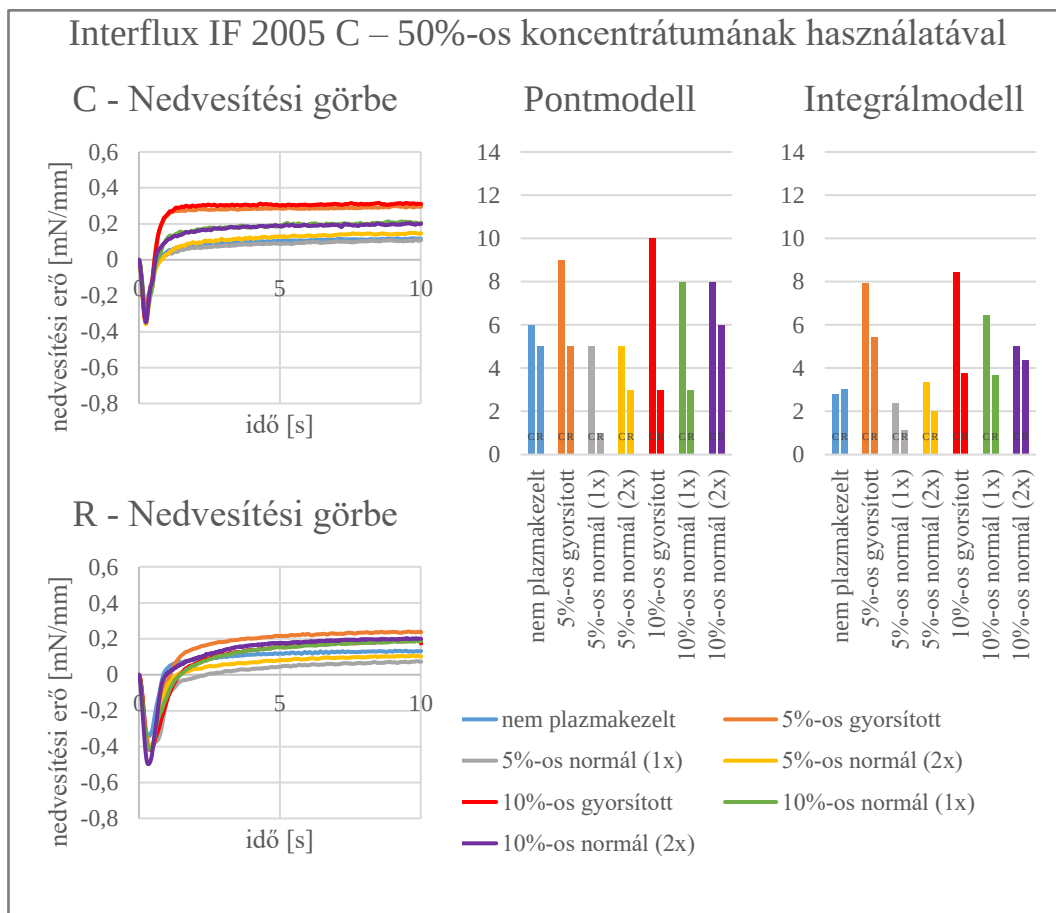


18. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 25%-os koncentrátumú alkoholbázisú folyasztszser használatakor [saját szerkesztés]

A 18. ábra-t megfigyelve az egyes alkatrészek nedvesítési erejének normalizálása ellenére az egyes alkatrészek nem egybevágó eredményt adtak az egyes plazmakezelés hatására, ennek oka az alkatrész lábak eltérő anyagösszetételéből adódhat. Általánosan az ellenállás esetében nem lehetett olyan jó eredményt elérni, mint a kondenzátornál. Kiemelkedő érték a 10%-os normál sebességű egyszeres plazmakezelésű kondenzátor pontmodell szerinti eredménye. Az eredmény a modellek közötti azon alapvető különbségből adódik, hogy a

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

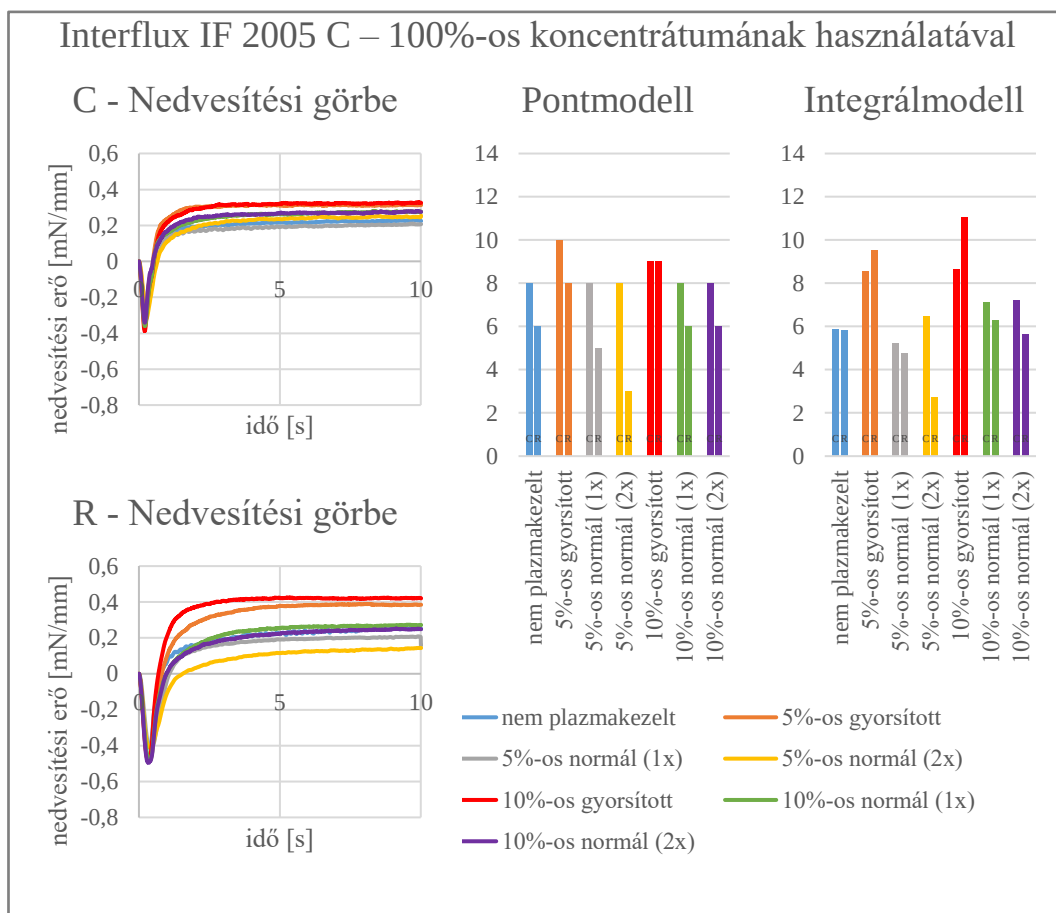
pontmodell nagyobb súlyt helyez a felfutás gyorsaságára. A görbét megfigyelve, ennek van a legrövidebb idejű felfutása a maximális erő eléréig.



19. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 50%-os koncentrátumú alkoholbázisú folyasztsószert használatakor [saját szerkesztés]

A 19. ábra modellek szerinti eredményeit megvizsgálva szintén megállapítható, hogy a kondenzátor esetén jobb nedvesítés érhető el. A legjobb eredményeket a gyorsított plazmakezeléssel lehetett elérni, továbbá a 10%-os plazmagázzal kezelt alkatrészek bizonyulnak jónak.

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszthatósági vizsgálata

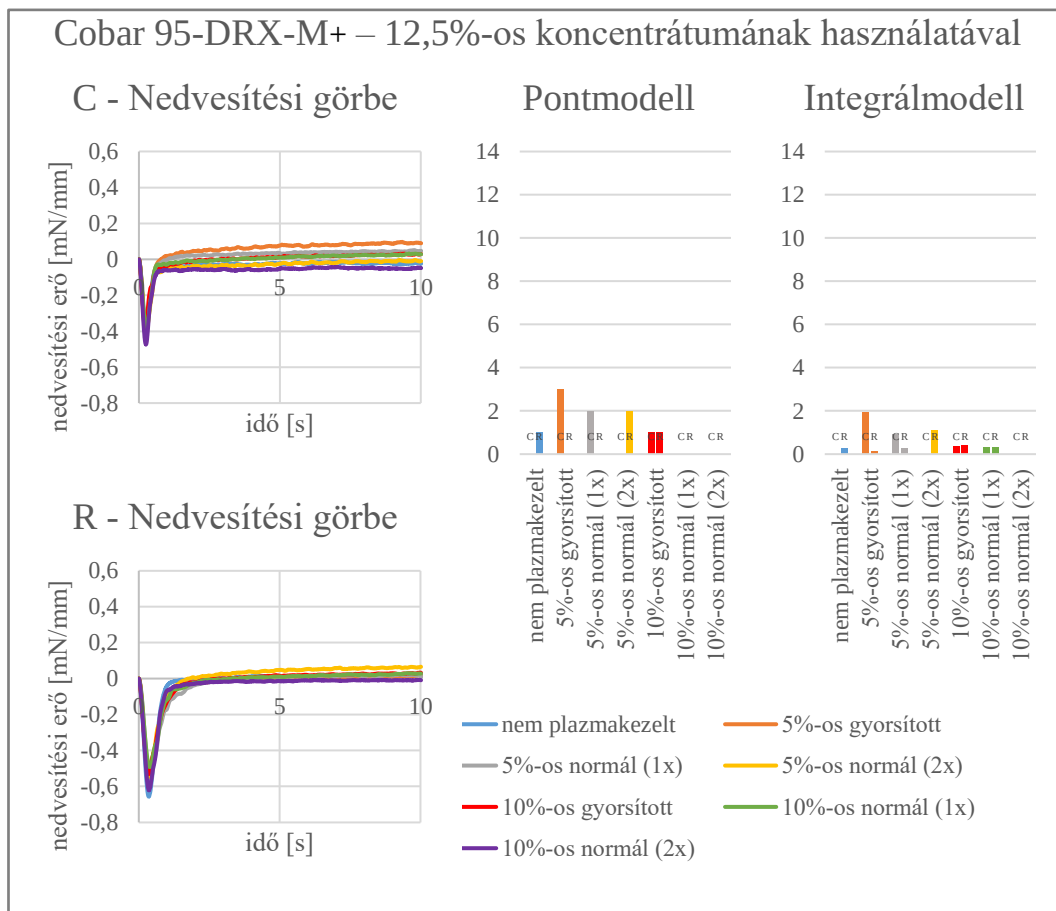


20. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 100%-os koncentrátumú alkoholbázisú folyasztsószert használatakor [saját szerkesztés]

A 20. ábra legjobb eredmények ebben az esetben is a gyorsított plazmakezelések mellett lettek elérve. A görbék jellegét tekintve, ismételten megállapítható, hogy a kondenzátorok jobb forraszthatósági eredményt hoznak. Ezek az alkatrészek esetében egy konzisztensebb gyors nedvesítés jött létre, még az ellenállások eredményei nagyobb mértékben eltérnek és a kondenzátorhoz képest lassabb nedvesítés következett be.

Végül a víz bázisú folyasztsószert végzett kísérletek eredményeit mutatom be. Ebben az esetben is először a 12,5%-os, majd a 25%-os 50%-os és 100%-os folyasztsószert koncentrátumok használata mellett vizsgálom a különböző paraméterbeállítású plazmák hatását.

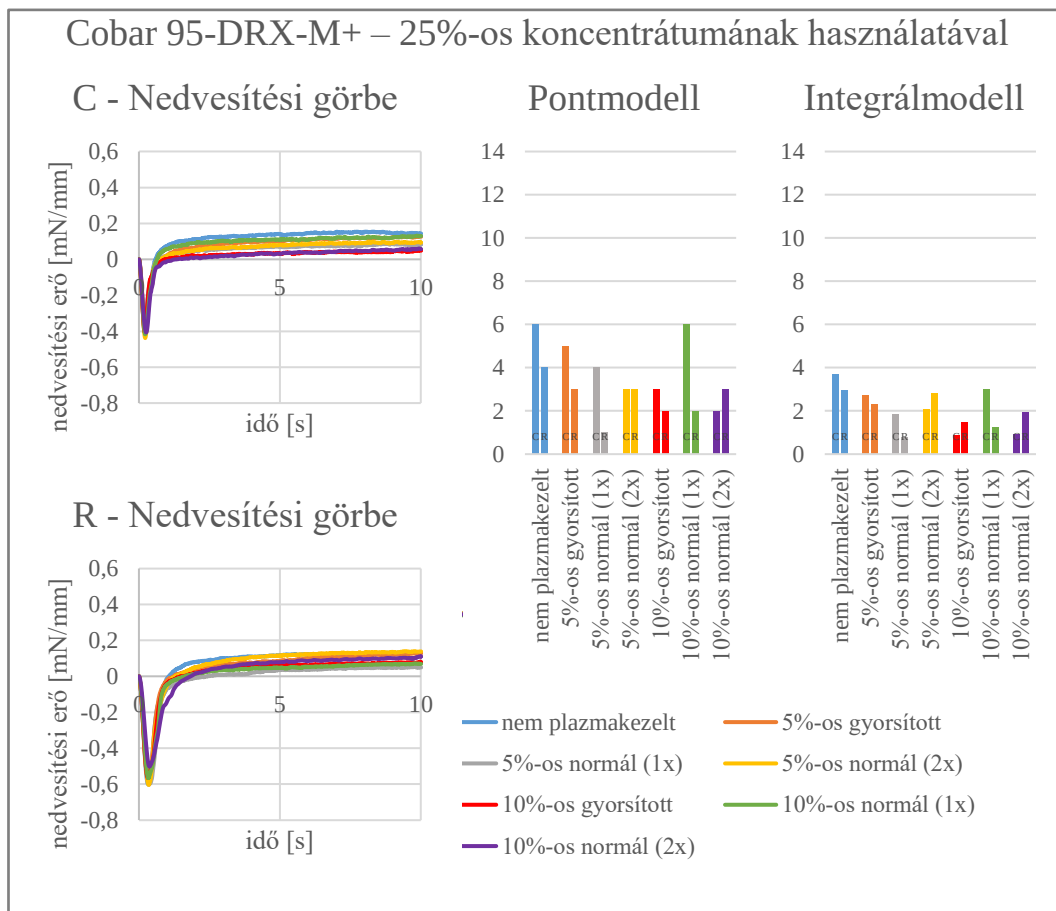
A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata



21. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 12,5%-os koncentrátumú vízbázisú folyasztószer használatakor [saját szerkesztés]

A 21. ábra-t tanulmányozva néhány esetben a korrigált 0 figyelembevétele nélkül is megfigyelhető kismértékű nedvesítés. A már a korábbiakban megfigyelt jobb eredményt hozó gyorsított plazmaeljárások itt is jobb eredményt biztosítanak, továbbá az 5%-os plazmagáz hozott jobb nedvesítési eredményeket.

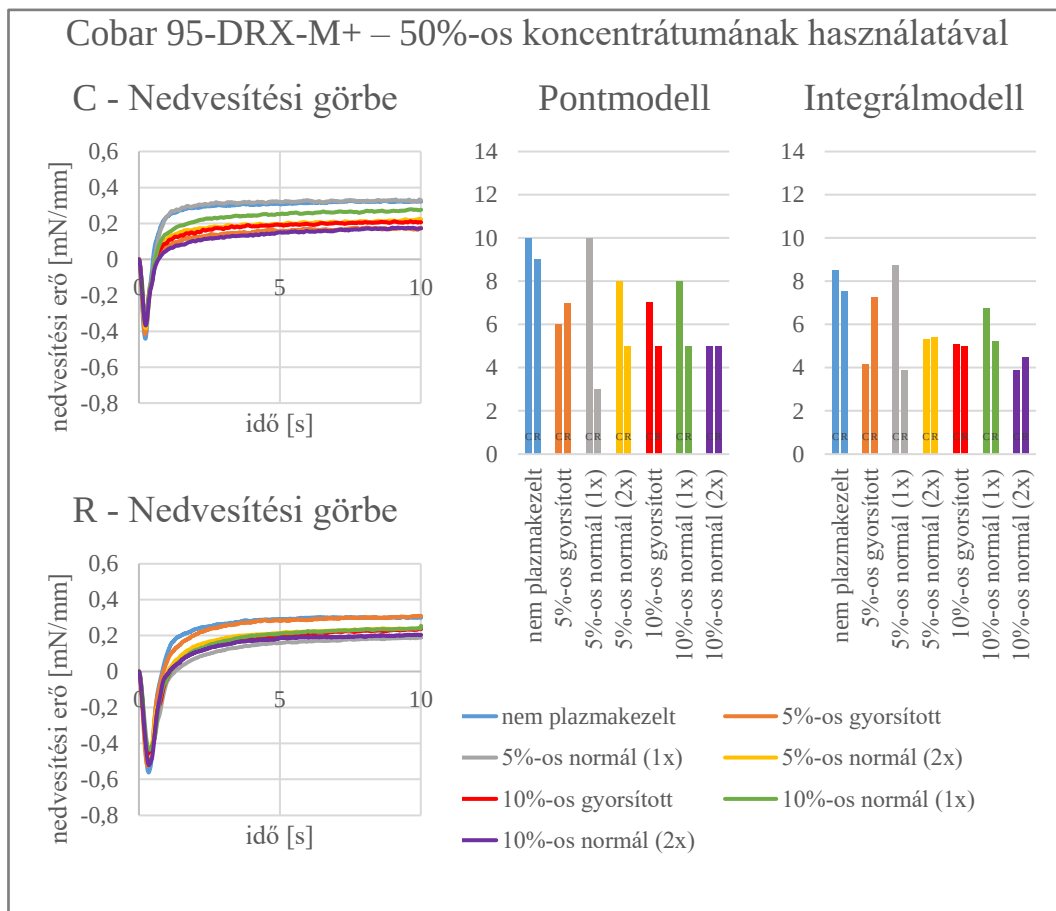
A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszthatósági vizsgálata



22. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 25%-os koncentrátumú vízbázisú folyasztószer használatakor [saját szerkesztés]

Az alkohol bázisú 25%-os koncentrátumú folyasztószer (18. ábra) jellemzésekor leírt kiemelkedő érték ismételten mutatkozik, a 22. ábra-n bemutatott 25% vízbázisú folyasztószer esetében is. Emellett az oszlopdiagramokról leolvasható, hogy a nem plazmakezelt eljárás, illetve az 5%-os gyorsított plazmakezelés hasonló eredményeket adnak, még a többi kezelés rosszabbnak bizonyul.

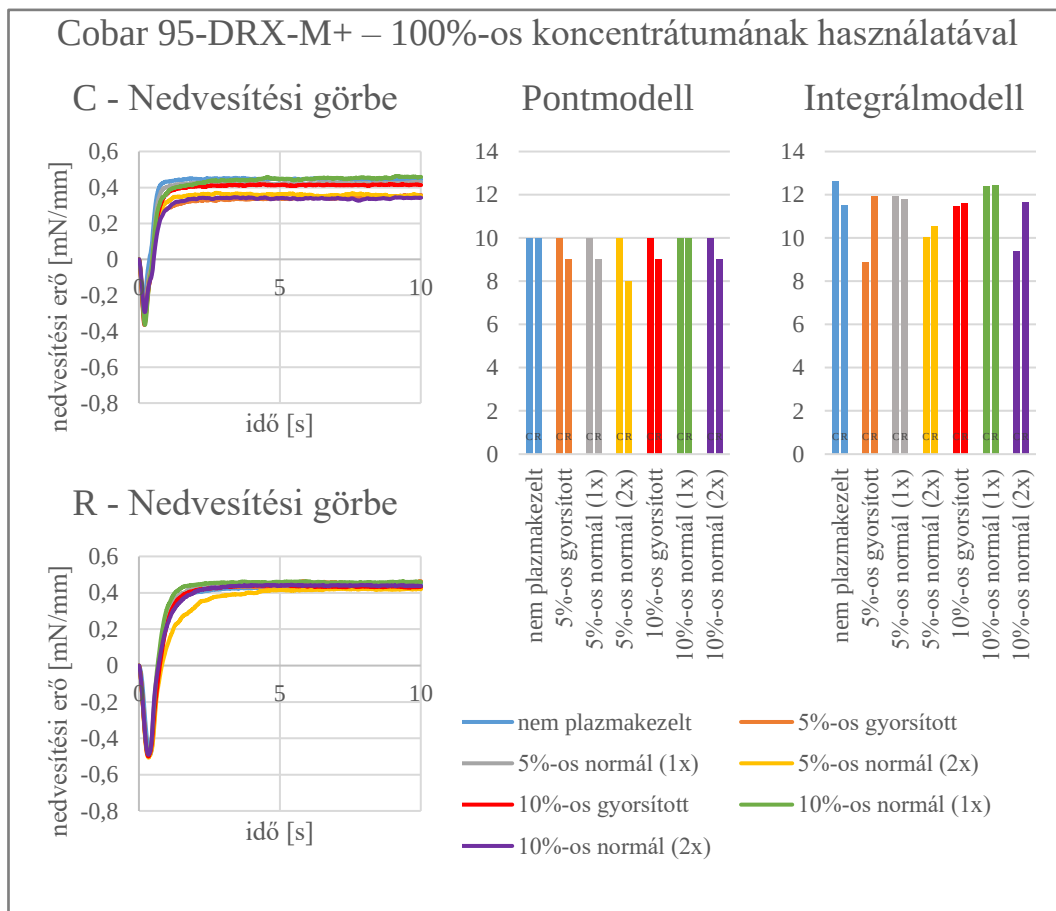
A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata



23. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 50%-os koncentrátumú vízbázisú folyasztószer használatakor [saját szerkesztés]

A 23. ábra-n látható plazmakezelések értékelésimodelljeit áttekintve, a nem plazmakezelt eredmények újból jobb eredményt hoztak, a plazmakezelési eljárásokkal egy közel azonos, az a mindenkori referencia értéknél (nem plazmakezelt) rosszabb értéket mutatnak.

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata



24. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 100%-os koncentrátumú vízbázisú folyasztószer használatakor [saját szerkesztés]

A 100%-ban vízbázisú folyasztószerrel kezelt esetben (24. ábra) szintén a nem plazmázott alkatrészekkel lett a legjobb eredmény elérve. A plazmakezelt alkatrészek tekintetében pedig a 10%-os hidrogén összetételű normál sebességgel egyszeresen kezelt plazmával született a legjobb eredmény.

A nem plazmázott alkatrészek többszöri jobb eredménye arra enged következtetni, hogy a plazmakezelési eljárás során az alkatrészek felülete nagyobb mértékben megváltozott, így a felület aktivizálása helyett, további „szennyeződés” alakult ki a forrasztandó alkatrész lábakon.

3.6 A plazmakezelési módszerek értékelése, következtetések

Kutatási kérdéseim megválaszolásához a két modell szerint a két alkatrésztípus eredményeit külön rendeztem a jól megjeleníthetőség érdekében. A folyasztószeres összehasonlítása miatt az azonos hígításúakat rendeztem egymás mellé.

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

8. táblázat: Kondenzátoron végzett nedvesíthetőségi mérések pontmodell szerint[saját]

	nem folyasztószer kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0	0	0	4	6	6	10	8	10
5%-os gyorsított	0	1	3	4	5	9	6	10	10
5%-os normál (1x)	0	0	2	0	4	5	1	8	10
5%-os normál (2x)	0	0	0	5	3	5	8	8	10
10%-os gyorsított	0	0	1	3	3	10	7	9	10
10%-os normál (1x)	0	0	0	7	6	8	8	8	10
10%-os normál (2x)	0	0	0	3	2	8	5	8	10

9. táblázat: Kondenzátoron végzett nedvesíthetőségi mérések integrálmodell szerint[saját]

	nem folyasztószer kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0,00	0,00	0,00	1,01	3,71	2,79	8,52	5,84	12,64
5%-os gyorsított	0,00	0,39	1,91	1,62	2,71	7,93	4,17	8,57	8,87
5%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,92	0,00	1,82	2,40	8,71	5,23	11,91
5%-os normál (2x)	0,00	0,00	0,00	3,35	2,06	3,35	5,33	6,46	10,03
10%-os gyorsított	0,00	0,00	0,37	1,54	0,88	8,46	5,06	8,64	11,48
10%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,33	3,04	2,98	6,46	6,75	7,09	12,38
10%-os normál (2x)	0,00	0,00	0,00	1,13	0,89	5,02	3,87	7,19	9,38

10. táblázat: Ellenálláson végzett nedvesíthetőségi mérések pontmodell szerint [saját]

	nem folyasztószer kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0	0	1	1	4	5	9	6	10
5%-os gyorsított	0	0	0	3	3	5	7	8	9
5%-os normál (1x)	0	0	0	0	1	1	3	5	9
5%-os normál (2x)	0	0	2	6	3	3	5	3	8
10%-os gyorsított	0	0	1	2	2	3	5	9	9
10%-os normál (1x)	0	0	0	1	2	3	5	6	10
10%-os normál (2x)	0	0	0	2	3	6	5	6	9

11. táblázat: Ellenálláson végzett nedvesíthetőségi mérések pontmodell szerint [saját]

	nem folyasztószer kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0,00	0,00	0,27	0,45	2,95	3,05	7,54	5,83	11,53
5%-os gyorsított	0,00	0,00	0,12	2,98	2,32	5,43	7,24	9,52	11,93
5%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,26	0,00	0,78	1,13	3,89	4,76	11,78
5%-os normál (2x)	0,00	0,00	1,11	4,80	2,81	2,01	5,41	2,74	10,55
10%-os gyorsított	0,00	0,00	0,41	1,28	1,46	3,77	4,99	11,04	11,60
10%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,33	1,16	1,24	3,69	5,21	6,28	12,41
10%-os normál (2x)	0,00	0,00	0,00	1,26	1,92	4,35	4,50	5,63	11,66

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata

K1: Milyen plazmatisztítási paraméterek mellett érhető el a legjobb forrasztási eredmény?

Az ideális forrasztási paraméter beállítás meghatározásához a 8., 9., 10. és 11. táblázatokat és az M-1., M-2., M-3. és M-4. ábrákat vizsgáltam. Ahhoz, hogy rangsoroljam az egyes plazmabeállításokat, a két modell értékelési intervallumait vettem alapul, osztályzatokként értelmeztem őket. A pontmodell esetén a kiváló értékelésre 3, a jóra 2, a megfelelőre 1 és a rosszra 0 pontot adtam. Az integrálmodellnél a kiváló értékelés 3, a jó 2, a megfelelő 1, a rossz és nagyon rossz eredmények esetén 0 pontot rendeltem az eredményhez. Az egyes plazmázási beállítások osztályzatait ezután összegeztem és így rangsoroltam azokat.

12. táblázat: A plazmabeállítások rangsora [saját szerkesztés]

Rangsor	Plazmabeállítás	Összesített osztályzat
I	5%-os gyorsított	36
II	10%-os gyorsított	33
III	nem plazmakezelt	32
IV	10%-os normál (1x)	29
V	10%-os normál (2x)	26
VI	5%-os normál (1x)	24
VII	5%-os normál (2x)	23

Az összesített osztályzat megmutatja, hogy átlagosan melyik beállítással érhető el a legjobb nedvesítési eredmény, ez alapján az 5% hidrogén tartalmú nitrogén gáz keverékből előállított plazma 33 mm/s sebességű egyszeres kezelésű plazmabeállítás bizonyult a leghatékonyabbnak.

A 12. táblázatból továbbá arra lehet következtetni, hogy a plazma sebessége nagyobb jelentőséggel bír a forraszthatóságra, mint a plazma összetétele. A nem gyorsított plazmakezelések során valószínű, hogy az alkatrészlábak fémezése több alkalommal megolvadt, így azok rontottak a lábak nedvesíthetőségén (a létrehozott mikroérdesség ismételten kisimult) a nem plazmakezelt esethez viszonyítva.

A plazmaösszetétel tekintetében általánosan a 10% hidrogéntartalmú nitrogén gázból képzett plazmák jobb nedvesítést biztosítottak, de ebből egyértelmű következtetés nem vonható azért, mert, ha azt feltételezzük, hogy az alkatrészlábak fémezése megolvadt 23 mm/s sebesség mellett, akkor előfordulhat, hogy a 10%-os plazmagáz mellett kevésbé érvényesült ez a hatás.

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszthatósági vizsgálata

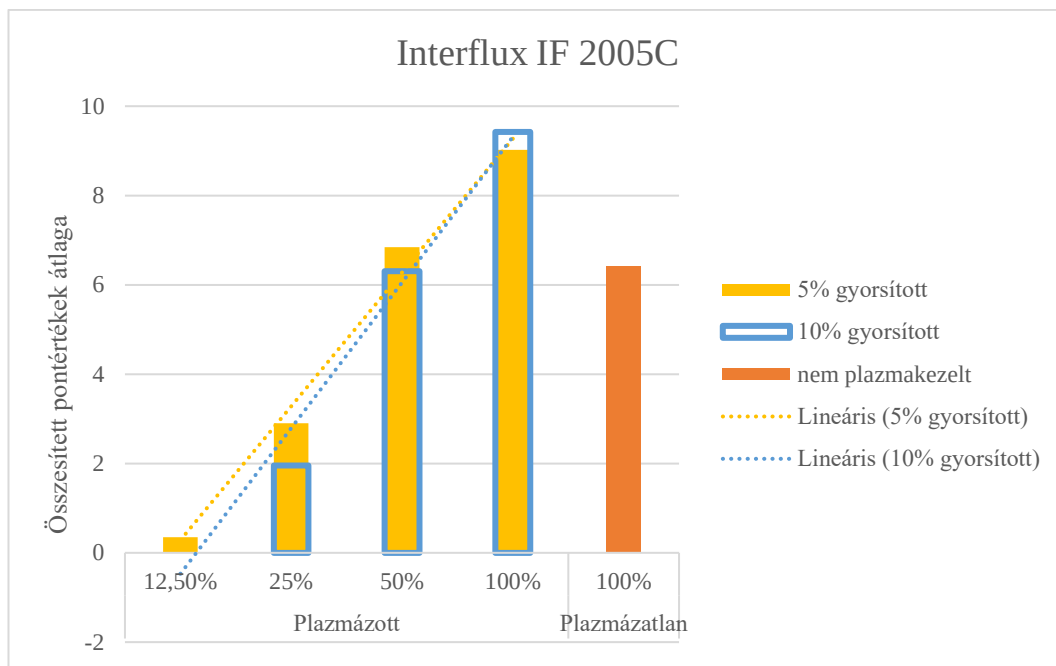
K2: Van-e különbség az egyszeres és többszörösen plazmakezelt alkatrészek forrasztása között?

A kutatáshoz szükséges kísérleti paraméterek meghatározásakor 3 kezelési sebesség módot jelöltem meg. A plazmatisztító berendezés alapbeállításai szerint a lehető leglassabb kezelési sebesség 23 mm/s. A másik két mód megjelölésekor ezt vettem alapul. a gyorsított sebesség így lett 33 mm/s, illetve a többszörös (kétszeres) kezelés során is ezeket a beállításokat használtam.

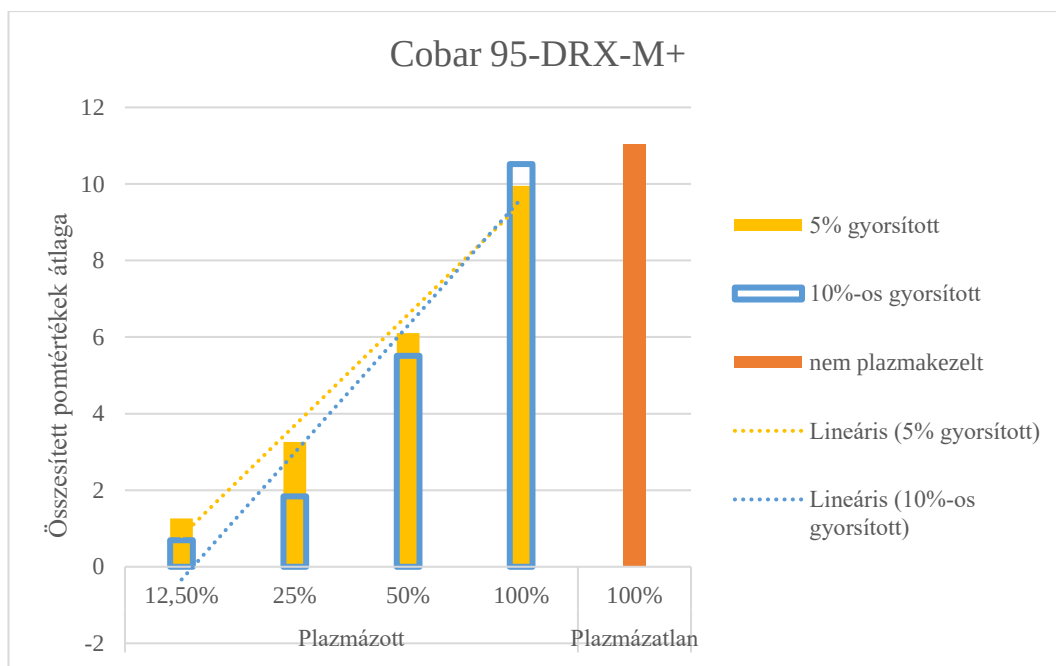
A kérdés megválaszolásához a K1 következtetései elengedhetetlenek. Ezekből kiderül, hogy 23 mm/s sebességgel kezelt alkatréslábak forraszthatósága rosszabb, mint a plazmakezeletlen esetben, így ez arra enged tovább következtetni, hogy az ezzel a sebességgel többszörösen kezelt alkatrészek forraszthatósága tovább romlik, ezt bizonyítja a 12. táblázat rangsora is, melyben az azonos formálógázzal egyszeresen vagy kétszeresen kezelt alkatrészek forraszthatóságát összehasonlítva, az egyszeresen kezelték jobb forraszthatósági eredményt nyújtanak. Feltételezem, hogy mivel a gyorsabb plazmabeállítás jobb eredményt hozott a plazmakezeletlenhez képest, azt a beállítást többszörösen használva viszont a forrasztási eredmény további javulást mutatna.

K3 és K4 kutatási kérdéseim megválaszolásához a két – jónak megítélt, tehát a plazmakezeletlen állapothoz képest átlagosan jobb nedvesíthetőséget biztosító – gyorsított plazmakezelési eljárással foglalkozom a továbbiakban. A két eljárást külön-külön elemzem. Referenciának a plazmatisztítás nélküli, 100%-os, hígítatlan alkoholos (IF 2005 C) és vizes (95-DRX-M+) bázisú folyasztószer alkalmazását tekintettem. Ezeket vettem össze a plazmatisztított alkatrészek hígítás nélküli, illetve az 50, 25 és 12,5%-os koncentrátumú folyasztószer használata esetén kapott eredményekkel, hogy meghatározzam, hogy mennyivel jobb vagy rosszabb nedvesítés érhető el a plazma alkalmazásával. Ezeket az értékeket a modellek és alkatrészek szerint táblázatba foglaltam. Mivel a két módszer értékei és az egyes alkatrészek eredményei is összehasonlíthatóak egymással, így koncentrátumonként az eredmények átlagát vettem (M-6., M-7., M-8. és M-9. táblázat), majd azt oszlopdiagramokon ábrázoltam. (25. és 26. ábra)

A plazmatisztított furatszerelt alkatrészek forraszhatósági vizsgálata



25. ábra: Gyorsított plazmakezelések hatása alkohobázisú folyasztószer mellett
[saját szerkesztés]



26. ábra: Gyorsított plazmakezelések hatása vízbázisú folyasztószer mellett
[saját szerkesztés]

K3: Meghatározó-e a folyasztószer oldószere a furatszerelt alkatrészek forrasztásakor, ha plazmatisztítási technológiát is alkalmazunk a gyártás során?

A tisztítási eljárások összehasonlítása

A harmadik kutatási kérdés megválaszolásához először a 8., 9., 10. és 11. táblázatokat és az M-1., M-2., M-3. és M-4. ábrák elemzésére van szükség. Mindegyik ábra tekintetében az egyes koncentrációs szintek mellett többségében a vízbázisú folyaszttósszerrel lehetett jobb forrasztási eredményt elérni. A gyorsított kezelések további vizsgálata azonban tovább árnyalja a választ. Az az érdekes jelenség figyelhető meg, hogy míg az alkohol bázisú folyaszttósszer esetén (25. ábra) a plazmakezelés javított a forrasztathatóságon addig a vízbázisú folyaszttósszert használva (26. ábra) nincs látható javulás a plazmázott alkatrészek forrasztathatóságában.

Tehát, összességében kijelenthető, hogy meghatározó a folyaszttósszer bázisa a furatszerelt alkatrészek forrasztásakor, ha plazmatisztítási eljárást is alkalmazunk. A hagyományos, de csökkentett szilárdanyag tartalmú Cobar DRX-95-M+ vízbázisú folyaszttósszerrel és a további utólagos tisztítást nem igénylő Interflux IF 2005 C alkoholbázisú folyaszttósszerekkel végzett kísérletek alapján a plazmakezeléstől függetlenül a vízbázisú folyaszttósszerrel jobb eredményt lehet elérni, viszont, ha a plazmatisztítási eljárást is alkalmazzuk hasonló eredményt érhetünk el az alkoholbázisú folyaszttósszerrel.

K4: Csökkenthető-e, és ha igen mekkora mértékben a felvitt folyaszttósszer mennyisége plazmatisztítás használata mellett?

A K3 kutatási kérdésre adott válasz alapján jelentős optimalizálási eredményről csak az alkoholbázisú folyaszttósszer használatakor beszélhetünk. Ebben az esetben, ahogyan a 24. ábrán is látszik, gyorsított plazmakezelést alkalmazva a felhasznált folyaszttósszer a felére csökkenthető.

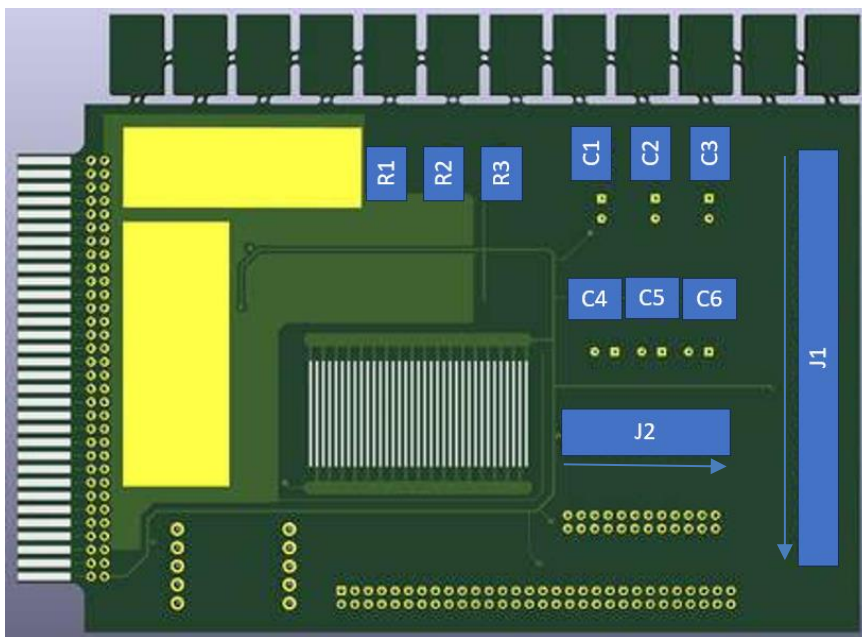
4 A tisztítási eljárások összehasonlítása

Mint azt a korábbiakban említettem a furatszerelt alkatrészek forrasztathatósága kritikus. Ebben a fejezetben azt vizsgálom, hogy az egyes tisztítási eljárások, (név szerint: plazmatisztítás, lézeres tisztítás, szárazjeges tisztítás) milyen hatással vannak a TH technológiát használt forrasztási kötésekre.

4.1 Az egyes tisztítási kezelések paraméterei és körülményei

A forrasztási kísérletek során 12 tesztpanel (6 db HASL panelbevonatú, 6db ImSn bevonatú) alkalmaztam, melyeket, az objektív összehasonítás érdekében egyformán szereltem, kézi beültetést alkalmazva. A forrasztást megelőzve, az átfolyási oldalon kapton szalaggal lettek ideiglenesen rögzítve az alkatrészek, ezzel biztosítva mindhárom tisztítási folyamat során az alkatrészek stabilitását.

A tesztpaneleket az alábbi módon szereltem:



27. ábra: Az alkatrészek elhelyezése a panel forrasztási oldalán [saját szerkesztés]

A panelen elhelyezésre került a wetting tesztek során is alkalmazott ellenállás típusból (R_) 3, kondenzátor típusból (C_) 6 db. Továbbá beültetésre került még 2 db csatlakozósor, egy hosszabb (J1), mely 60 db lábbal rendelkezik és egy rövidebb (J2), melynek 24 lába van. A kondenzátorok és ellenállások esetén az alkatrészlábakat műszerész csipesszel vágtam a kívánt hosszra. Az ellenállásokat a korábbiakban ismertetett módon szintén meghajlítottam. A forrasztási kísérletek során használt minden egyes alkatrész lábátmérője a tesztpanelhez javasolt méretű.

A 6-6 panel tisztítási szempontból adódó megoszlása a következő:

- 1 db kezeletlen referencia panel 100%-os folyasztószer használatával
- 2 db plazmakezelt panel 12,5%-os folyasztószer használatával
- 1 db lézertisztított panel 12,5%-os folyasztószer használatával

A tisztítási eljárások összehasonlítása

- 2 db szárazjéggel tisztított panel 12,5%-os folyasztsószert használatával

A plazmakezelés és szárazjéges tisztítás esetében, azért nagyobb a panelok darabszáma, mert az ipari partner kérése az volt, hogy a megismételhetőség és a pontosabb statisztikai számítások érdekében a mintavételezés darabszáma legyen magasabb.

4.1.1 Plazmatisztítás

A 3. fejezetben ismertetett eredményeim alapján a vizsgált eljárások közül az 5%-os hidrogén-nitrogén keverékű formálógázból képzett plazma 33 mm/s sebességű egyszeri kezelésű alkalmazására tettem javaslatot az előszerelt panelok tisztítására, mert ezzel a jelenleg felhasznált alkoholos folyasztsószert mennyiségét felére lehetséges csökkenteni.

Az általam meghatározott paraméterektől, ipari partner kérésére a folyasztsószert mennyiségének tekintetében eltértem. Az eltérést indokolja az, hogy a nedvesíthetőségi tesztek során csak alkatrész oldalról végeztem vizsgálatokat, azonban a forrasztási kísérletek során a panel is nedvesítésre kerül. A kísérletek alatt használt panelek jól nedvesíthetőeknek lettek megítélve az ipari partner által, tehát a nedvesíthetőség a forrasztás során jobb, így 50%-os folyasztsószert koncentrációját helyett 12,5%-os hígítású Interflux IF 2005C folyasztsószert alkalmaztam.

A panelok kezelésére a forrasztási kísérletekhez a Plasmatrete PTU 1208 plazmaberendezést alkalmaztam, a korábbiakban is használt RD1004 forgófűvókás plazmafejjel. A kezelési pálya az egész panelt lefedő program által lett meghatározva, a kezelendő felület itt is 10 mm-re helyezkedett el a plazmafejtől.

4.1.2 Lézeres tisztítás

A lézeres tisztítást LEM-40 lézergravírozóval végeztem, melyet Metal-Brule lézer típussal alkalmaztam. A kezelési pálya, csak a vizsgálandó alkatrészt és közvetlen környezetét fedte le.

A tisztítási eljárások összehasonlítása

Paramétereit az ipari partner a következőkben határozta meg. A lézer teljesítményét egy 1-100-as skálán lehet változtatni, melyet 33-asra állítottam. A lézer kezelési sebessége 1568 mm/s-ban lett definiálva. A beállított frekvencia pedig 20,7 kHz volt.

4.1.3 Szárazjeges tisztítás

A szárazjeges tisztításhoz a CleanLogix CPU-6000-2 & CO₂ Cleaning Station berendezést alkalmaztam. A berendezés két szárazjég fűvókával van ellátva, melyből a kezelés alatt csak egyet alkalmaztam. A kezelendő felület, ezesetben is program által volt definiálva, itt is a plazmatisztításhoz hasonlóan a panel teljes felületét pásztáztam át.

Paramétereit szintén az ipari partner határozta meg. A felületet 3 ciklusban kezeltem 2,29 g/s CO₂ tömegárammal. A kezelés során a légnyomás 4 bar volt. A kezelés előtt a panel feltehetően szobahőmérsékletű volt.

4.2 A forrasztás menete

A panelek forrasztás szelektív forrasztással történt. A panelek, egy forrasztási keretbe lettek elhelyezve, a forrasztanyag pedig fűvóka segítségével lett (solder fountain) a megfelelő helyre juttatva. A forrasztás során 12,5%-os Interflux IF 2005C folyasztószer lett alkalmazva. Ezalól a referencia panelek kivételt képeznek, melyek a jelenlegi gyártást szimulálva 100%-os folyasztószer adagolásával lettek leforrasztva.

4.3 Helyi ionos szennyezettség mérés

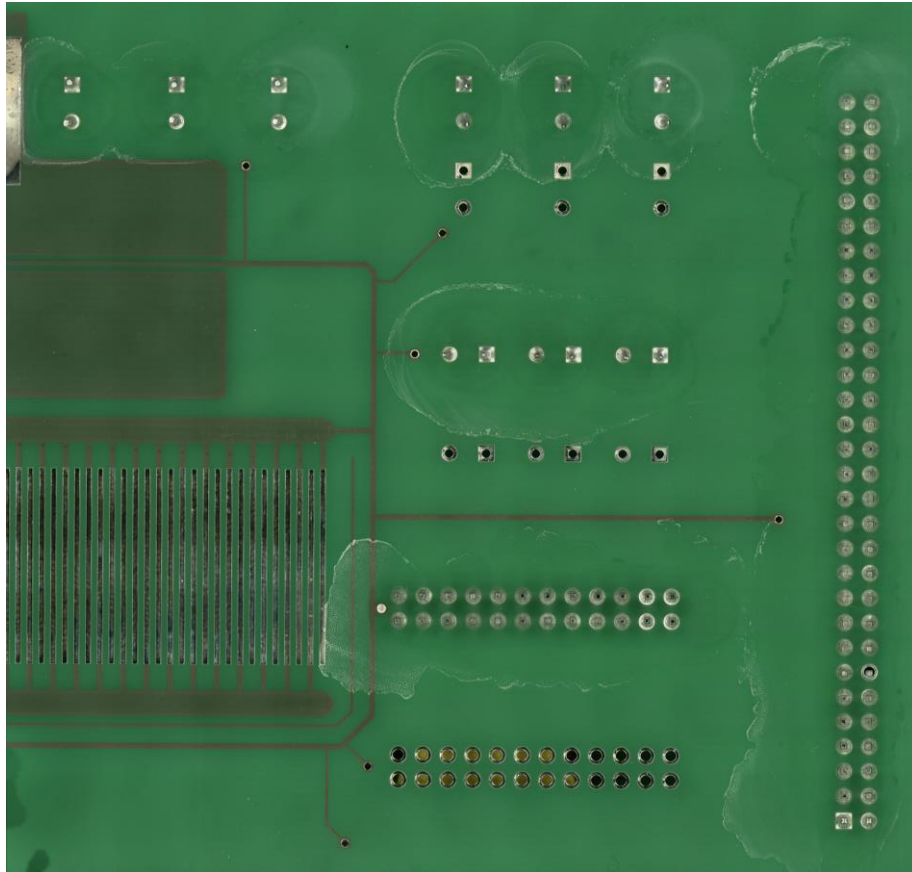
A C3 használatával gyűjtött információk azt a célt szolgálják, hogy meghatározzák egy minta felületének tisztaságát, például egy áramköri lap esetében. A C3 mintát vesz az adott területről, amelyet további ionanalízishez lehet használni. A C3 és a kivonó oldat együttesen hatékony ionmaradék-eltávolítást biztosítanak egy háromlépcsős fűtött szállítórendszerrel: [32] [33]

1. A kivonó oldat felfűtése és a kivonási helyre juttatása
2. A vizsgált felület áztatása az ionfajták oldhatóságának elősegítése érdekében.
3. Az oldatot beszívása egy gyűjtőcellába

Ezt a ciklust kilenc alkalommal ismétlik meg, hogy hatékonyan eltávolítsák a felületet szennyező maradványokat, kb. $0,1 \text{ in}^2$ területről. Ezeket az ionmaradványokat ezután összegyűjtik az elemzéshez. A C3 készülék beépített mérőrendszerrel rendelkezik, amely az oldat elektromos vezetőképességét méri. Az eredmények alapján "Tiszta" vagy "Szennyezett" minősítést ad. Ha részletesebb elemzésre van szükség, az oldatot összetettebb technikákkal, például ionkromatográfiával lehet vizsgálni. [32] [33]

A C3 teszt alapértelmezett beállításai ($250 \mu\text{A}$ és 120 másodperc) viszonylag érzékenyek és általában a magasabb megbízhatóságú elektronikai berendezéseknél használatosak (pl. IPC II és III osztályok). Az eredményként kapott Korrozíós Index (C.I.) gyakorlatilag a mért áram és mintavételezési idő hányada. A határérték pont ezért 2,08 ($250/120=2,08$). [32] [33]

A C.I. értékét az idő múlásával ábrázolva nyomon lehet követni a termék tisztaságában bekövetkező változásokat, minél alacsonyabb a C.I., annál kevésbé valószínű, hogy a termék teljesítményproblémákat szenved a káros ionos maradványok jelenléte miatt. [32] [33]



28. ábra: Ionos szennyeződés (fehér maradvány) HASL panelbevonatú 100%-os folyasztószer használata mellett

[saját kép]

Mint ahogy azt a 28. ábra is szemlélteti a HASL esetében, jelenlegi 100%-os folyasztószer használat mellett szemmel látható a folyasztószer maradványa. Az ImSn bevonatnál ugyanez volt tapasztalható. A tisztított paneleknél nem volt ilyen jellegű maradvány. Megjegyzendő, hogy a lézeres felületkezelés esetében a forrasztásgátló maszkon elváltozás volt tapasztalható, mely a későbbiekben a lézer erősségének állításával kiküszöbölhető. (29. ábra).

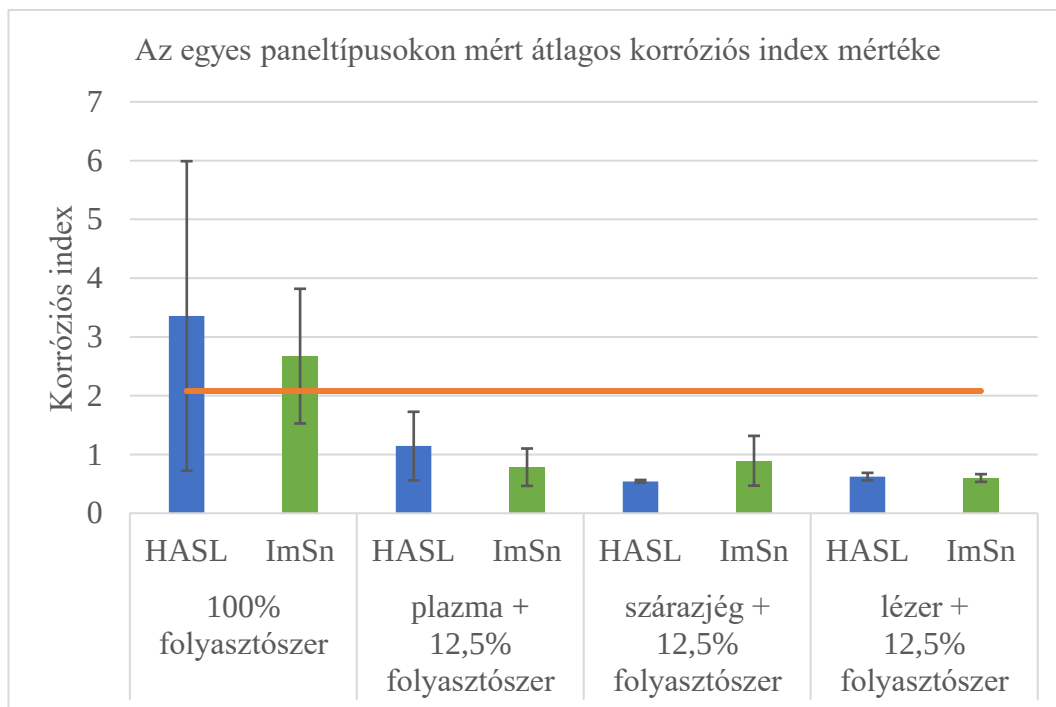


29. ábra: A lézeres felületkezelés hatása ImSn panelbevonaton J1 csatlakozó mentén – elváltozás a forrasztásgátló maszkon

[saját kép]

A tisztítási eljárások összehasonlítása

Helyi ionos szennyezettséget panelonként 3-3 helyen vizsgáltam. A mérések riportja szintén elérhető a pendrive-on. A helyek mindig azonosak voltak: R3, C3, és a J1 csatlakozó első 3 pin párja. A korróziós indexek megmérését követően látható nyoma maradt a vizsgálatnak. (28. ábra)



30. ábra: Az átlag korróziós indexek alakulása tisztítási eljárástól függően

[saját szerkesztés]

K5: Csökken-e azoknak a paneleknek a helyi ionos szennyeződése, melyeken új tisztítási eljárást alkalmaznak?

A 30. ábrán oszlopként az átlagos korróziós indexeket ábrázoltam, az oszlopokhoz tartozó hibasávként a standard hibát tüntettem fel, amely megmutatja, hogy a mintaátlagok körülbelül mekkora szórással ingadoznak a tényleges sokasági átlag körül. A narancssárga színnel a hibahatárt jelöltem. Az ábra jól mutatja, hogy míg a referencia panelek átlagosan nem felelnek meg a helyi ionos szennyezettségi teszten, addig mindhárom tisztítási módszerrel az ionos szennyezettség szempontjából, egy biztosabb, jobb eredmény kapható.

4.4 A forrasztási eredmények értékelése

A forrasztási eredmények értékeléséhez különböző vizsgálati eljárásokat alkalmaztam. Az eszközöket az ipari partner biztosította, annak hibaelemző laborjában végezhettem a vizsgálatokat. Ilyen vizsgálati módszer volt például a különböző digitális optikai mikroszkópokkal történő vizuális szemrevételezés, amely leginkább az elsődleges problémás területek feltérképezésében volt hasznos, illetve a meniszkusz (forraszfelfutás a pin-en) megfigyelésében. Az alkatrészeket továbbá röntgen berendezés segítségével is vizsgáltam, mely során a felszínen nem látható hibákat is sikerült felmérnem: a furatkitöltés vizsgálati eszközül használtam. A J2 csatlakozóból keresztmetszeti csiszolatot is készítettem, melyet később szintén digitális optikai mikroszkóppal, illetve a labor munkatársai segítségével egy energiadiszperzív röntgenspektrométerrel (EDX) felszerelt pásztázó elektron mikroszkóppal (SEM) is megvizsgáltam. Ezek a vizsgálatok még mélyebb betekintést engedtek a forrasztás értékeléséhez, hiszen a keresztmetszeten az optikai mikroszkóppal, olyan hibákat is láthattam, melyeket esetleg a röntgen képeken nem lehetett megfigyelni. A SEM mikroszkóppal pedig megvizsgálhattam az elemi összetételeket, továbbá a forrasztás alapvető feltételeként kialakuló intermetallikus réteg vastagságát is. A készült képeket az M-10., M-11., M-12., M-13., M-14. M-15., M-16. és M-17. táblázatok foglalják magukba. A felvételekből továbbá egy képtárat is készítettem, melyet egy pendrive-ra mentettem, szükség esetén ez is elérhető.

A következő bekezdésben a fent említett vizsgálati módszereket részletesen is ismertetem.

Digitális optikai mikroszkópia

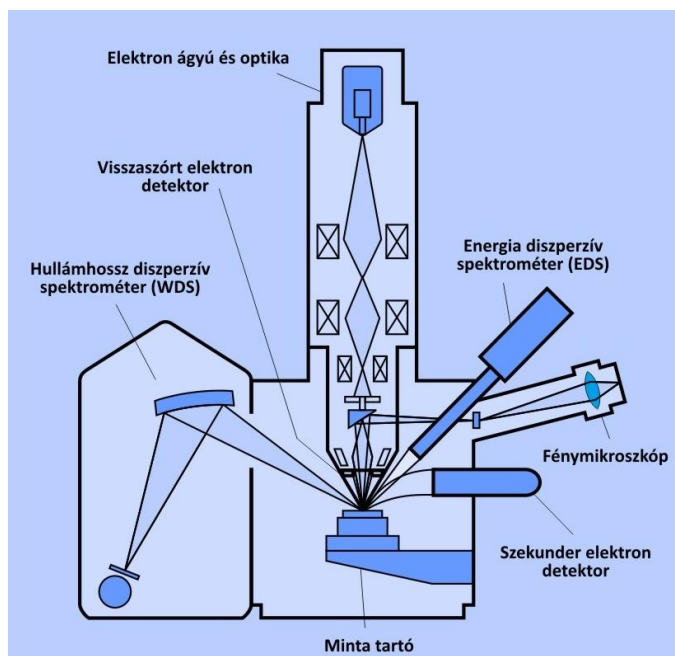
A mikroszkóp azokat az egyébként láthatatlan vagy hozzáférhetetlen részleteket tárja fel számunkra, amelyekhez másképp nem férnénk hozzá. Ez az eszköz lehetővé teszi a leképezést, azaz a tárgy- és képpontok kölcsönösen egyértelmű megfeleltetését. A mikroszkóp felbontóképessége az egymástól még megkülönböztethető pontok távolságát jelöli, amit a képen érzékelünk, de a tárgyra vonatkoztatjuk. Emellett a mikroszkóp nagyítást biztosít, amely a képméret és a

A tisztítási eljárások összehasonlítása

tényleges tárgyméret hányadosát jelenti, így lehetővé téve a részletes és aprólékos vizsgálatot. [34]

Energiadisperzív röntgenspektrométerrel (EDX) felszerelt pásztázó elektron mikroszkóp (SEM)

Az energiadisperzív röntgenspektrométerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópok (SEM) (31. ábra) olyan kiváló tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek miatt rendkívül kívánatosak lehetnek gyárakban vagy kutatóintézetekben. A SEM-ek jelentősen túlszárnyalják a fénymikroszkópos felvételek felbontóképességét és mélységélességét. A termikus katóddal működő SEM-ek akár 3-4 nm, míg a téremissziós katódú változatok 1 nm vagy még ennél is jobb felbontást tudnak elérni. Az elektron-anyag kölcsönhatás révén keletkező különböző jeleket (elektronok, fény vagy röntgensugárzás) lehet használni képek létrehozására a SEM-ben. Az EDX segítségével végzett elektronsugaras mikroanalízis nem roncsoló, nagyon jó felbontóképességgel (0,5 μm - 10 μm) rendelkezik, és kedvező abszolút detektálási határokkal (10-14-10-15 g). Ezáltal a SEM és az EXS kombinációja rendkívül sokoldalú és hatékony eszköz a részletes anyagvizsgálatokban és elemzésekben. [35] [36]



31. ábra: Pásztázó elektronmikroszkóp vázlatos felépítése [36]

A tisztítási eljárások összehasonlítása

Csiszolatkészítés

A keresztmetszeti csiszolati vizsgálat egy roncsolásos eljárás. Az elektronikai szerelvény vizsgálatakor kiemelten fontos az alkatrészekből kivágott minta körültekintő kezelése, hogy a vizsgálandó részt ne sértsük meg a vágás során. A beágyazó formák átlagosan 30 mm átmérőjűek, ennek megfelelően a vizsgálandó minták mérete is korlátozott. A vizsgálandó mintát gondosan elhelyezzük a beágyazó formákba (mintatartó csipesszel segítjük a rögzítést), majd műgyantával öntjük és keményítjük ki. Ezután a műgyantába ágyazott mintát a megfelelő mélységig csiszoljuk, fokozatosan finomodó csiszolókorongok segítségével. A csiszolókorongok finomsága a felületegységre eső szemcsék számával vagy méretével jellemző. A csiszolás lényege az előző lépések által keletkezett karcok eltüntetése a mintáról, ezzel biztosítva a vizsgálat precizitását és pontos eredmények elérését. A csiszolás során fontos a mintát végig merőlegesen tartani a csiszolóvászorra. Ezt többször sztereomikroszkóp segítségével ellenőrizzük, hogy látható-e már a kívánt metszet. A csiszolást követően szintén korongok segítségével polírozzuk a mintát. [34]

A csiszolati mintát ezt követően SEM vagy digitális mikroszkóppal vizsgáljuk.

Röntgenmikroszkópia

A röntgensugárzás az elektromágneses spektrum egy szűkebb sávjába esik, hullámhossza 10^{-12} és 10^{-8} méter között helyezkedik el. A karakterisztikus röntgensugárzás létrejöttéhez egy nagy energiájú elektron ütközik a célatom belső elektronhéjával, és ha elegendő az energia, kiszakít egy elektront, ionizálva ezzel az atomot. Ez az energiakibocsátás röntgenfoton formájában jelenik meg, melynek nagysága a két elektronhéj kötési energiájának különbségével arányos.

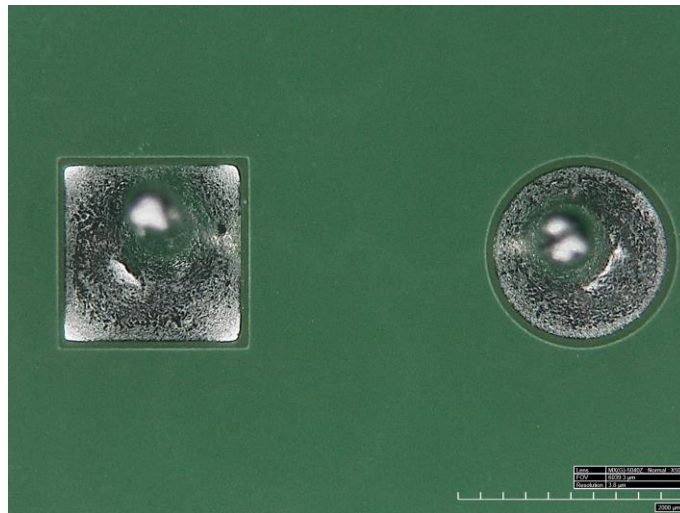
A fékezési röntgensugárzás másik típusa a röntgensövön belül kialakuló folyamatoknak köszönhető. Az elektromágneses sugárzás létrehozható gyorsuló töltések által is, mivel minden gyorsuló töltés sugároz. Elegendő gyorsulás esetén a röntgenfotonok is előállíthatók. A zárt röntgensőben állandó vákuum biztosítja a megfelelő környezetet a felgyorsított elektronok számára. Ebben a csőben a céltárgyként egy wolfram réteggel bevont berillium lapka található. Az elektronok, amelyek a wolfram rétegbe csapódnak, röntgensugárzást generálnak, amely a

A tisztítási eljárások összehasonlítása

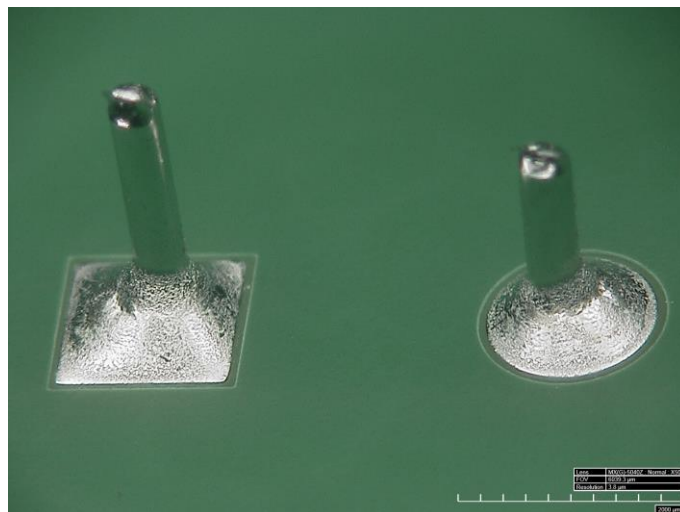
berillium rétegen keresztül áthatolva megvilágítja a vizsgált mintát, lehetővé téve annak részletes elemzését. A minta képének nagyítása a minta és a röntgenforrás és illetve a detektor és a minta távolságának változtatásával érhető el. [34]

4.4.1 Vizuális megfigyelés

A vizuális megfigyeléshez felülnézeti és döntött nézetű képeket alkalmaztam. (32. és 33. ábra)



32. ábra: HASL bevonatú plazmakezelt panel C1 alkatrész felülnézeti mikroszkópi képe
[saját kép]



33. ábra: HASL bevonatú plazmakezelt panel C1 alkatrész döntött nézetű mikroszkópi képe [saját kép]

A mikroszkópi képeket megnézve arra lettem figyelmes, hogy míg a referencia paneleken közel mindenhol megfelelő ívű meniszkusz jött létre, addig ez a tisztítási

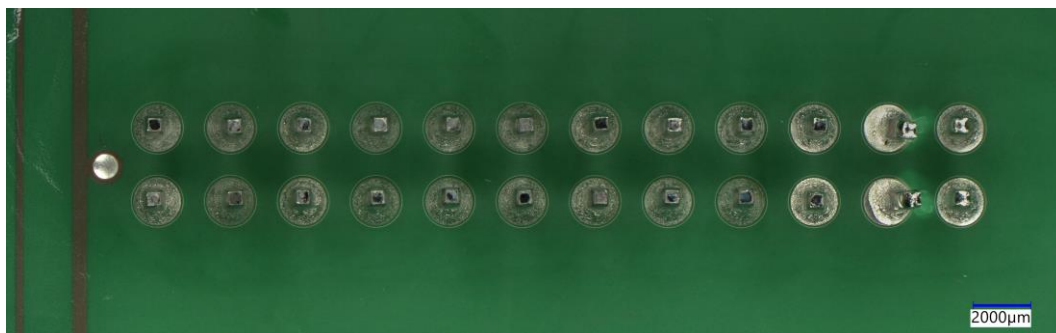
A tisztítási eljárások összehasonlítása

módszereknél nem minden esetben következett be. Kivételt képez a HASL referencia panel J1 csatlakozósorában 1 pin, ahol egyértelmű hiánya látszik a forrasztanyagnak. (34. ábra) Már ezeken a felvételeken is látszódott, hogy a tisztított paneleknél több esetben nem megfelelő a furatkitöltés, vagy egyáltalán nem is jött létre forrasztás (36. ábra), ez indokolta a panel röntgennel történő tovább vizsgálatát. A legtöbb szembetűnő hibát a lézerrel felületkezelt paneleknél, majd a plazmával és végül a szárazjéggel tisztított alkatrészekenél tapasztaltam. Emelett, további két kirívó esetet véltem felfedezni. Az ImSn referencia panelen a J2 csatlakozósorban egy pinpár elferdült, a panelben delaminációt (35. ábra) okozva, ennek egyértelmű jele a panel színének megváltozása (világosodása). Továbbá, a HASL panelbevonat egyik plazmakezelt paneljének J2 alkatrészénél rövidzár alakult ki. (36. ábra). Mivel mindhárom kirívó eset, azt gondolom, hogy a gyártási gyakorlatot nem jellemzi. A kézi beültetés vagy a panelok szállítás során sérülhettek meg, illetve kerülhetett szennyeződés az alkatrészre, ami az adott hiba bekövetkezéséhez vezetett.

Mindemellett, több esetben nagyon apró repedésekre lettem figyelmes a forrasztanyag felszínén, ez forrasztástechnikai probléma, a forrasztanyag hirtelen lehűlése okozta. Forrasz (fillet) és forrasztaszem (pad) felválást (lifting) nem tapasztaltam.

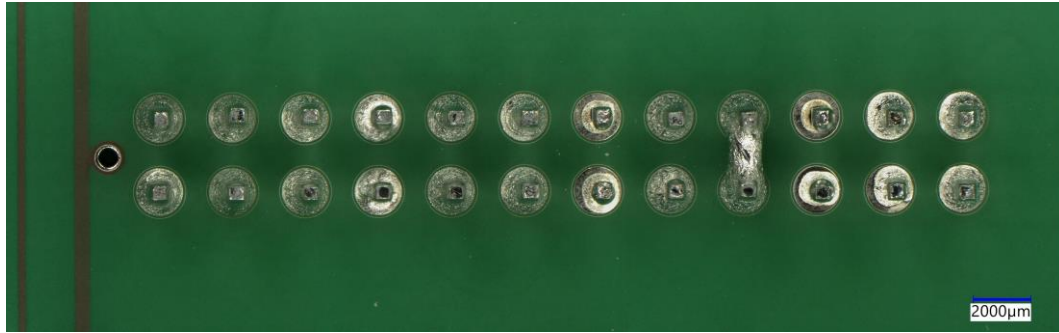


34. ábra: HASL panelbevonat, referenciapanel, J1 csatlakozósor – furatkitöltési probléma [saját kép]



35. ábra: ImSn panelbevonat, referenciapanel, J2 csatlakozósor – delamináció [saját kép]

A tisztítási eljárások összehasonlítása



36. ábra: HASL panelbevonat, plazmatisztítással, J2 csatlakozósor – rövidzárlat

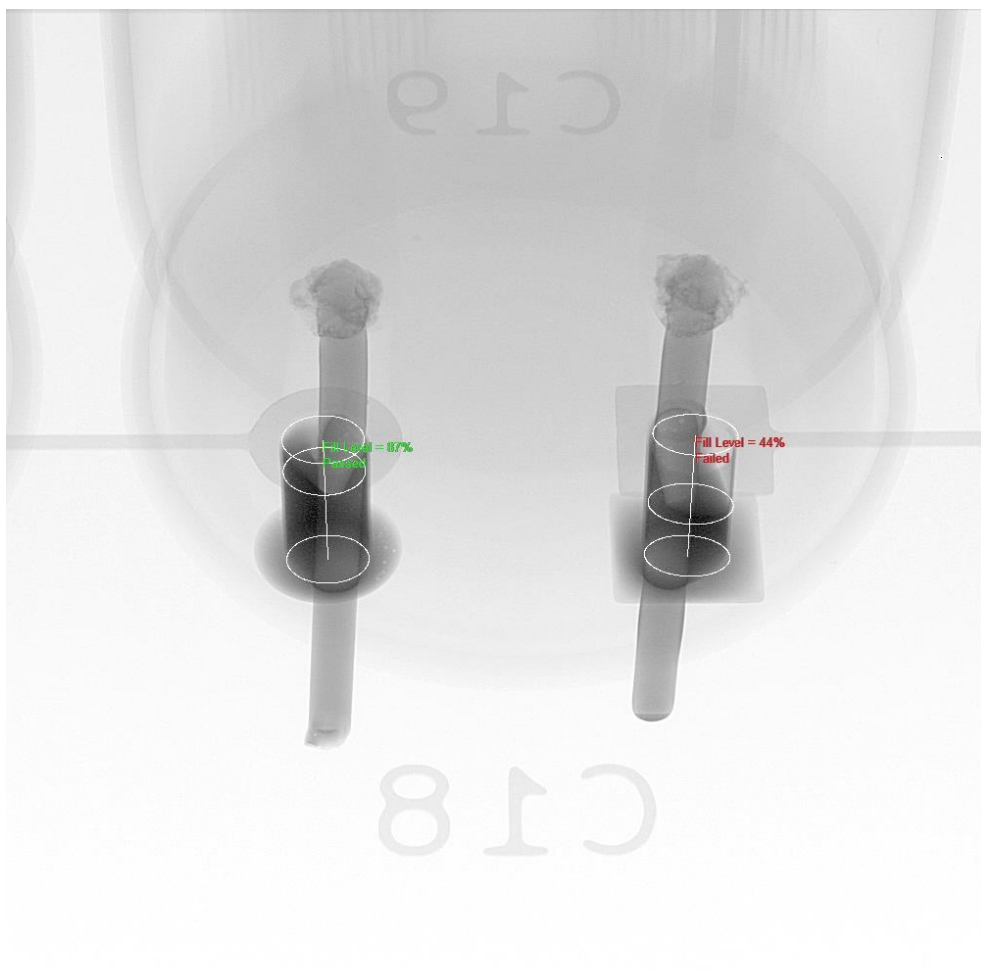
[saját kép]

A továbbiakban a röntgenképek és a csiszolati minták vizsgálatával - az eredményeket az egyes alkatrésztípusokra bontva külön-külön – értékelem a tisztítási eljárásokat.

4.4.2 Kondenzátorok és ellenállások (R_,C_)

A két lábbal rendelkező alkatrészeket (kondenzátor, ellenállás) egyforma módszerrel értékeltem. Először mindegyikről röntgen képet készítettem (45 fokos döntési szögben), majd a röntgenmikroszkópon szoftveresen tudtam mérni az egyes furatok kitöltési szintjét. (37. ábra)

A korábban bemutatott esetről nagyobb problémát jelent, mikor a kitöltés megkezdődik a kivezetőn, de az nem éri el a megfelelő furatkitöltést. Ez a jelenség jelentősen csökkentheti a kötés mechanikai szilárdságát és megbízhatóságát, ezért a szabványok (például az IPC-A-610H) általában legalább 75%-os furatkitöltést írnak elő. [1]



**37. ábra: Furatkitöltöttségi szint mérése – HASL panelbevonat, szárazjeges tisztítással
C5 kondenzátoron**

[saját kép]

Az értékeléshez egy részleges FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) elemzést végeztem. (13. táblázat). Az FMEA módszer használatával lehetséges elemezni lehet az esetleges hibákat és azok lehetséges hatásait, így ez az elemzési módszer egy fontos eszköze a termék- és folyamatjavításnak. Az FMEA elemzés egyik részfeladata az ún. RPN (Risk Priority Number) vagyis a legnagyobb rizikószámú hibalehetőségek súlyosság alapú elemzése. Az RPN szám meghatározható, ha a súlyosságra, az előfordulásra, és a felfedezhetőségre adott súlyszámokat összeszorozzuk. A súlyokat egy 1-től 10-ig vagy egy 1-től 5-ig terjedő skálán adjuk meg. [37]

Súlyosság és előfordulás tekintetében 1-10 felfedezhetőség tekintetében 1-5-ig terjedő skálát alkalmaztam.

A tisztítási eljárások összehasonlítása

13. táblázat: A kondenzátorokra és ellenállásokra számított RPN elemzés

[saját szerkesztés]

Tisztítási eljárás	Vizsgált paraméterek	Kockázat/hiba következmény meghatározás			Lehetséges kockázat/hiba felfedezhetőség a gyártónál DETECTIBILITY (D)	HASL Szorzat	ImSn Szorzat
		Súlyosság (a vevőnél) SEVERITY	HASL Előfordulás PROBABILITY (P)	ImSn Előfordulás PROBABILITY (P)			
100% flux	Furatkitöltés ≤ 75%	2	3	2	2	12	8
	Furatkitöltés ≤ 60%	4	1	1	2	8	8
	Furatkitöltés ≤ 45%	6	1	1	2	12	12
	Furatkitöltés ≤ 30%	8	1	1	2	16	16
	Furatkitöltés ≤ 15%	10	1	1	2	20	20
						68	64
plazma+ 12,5% flux	Furatkitöltés ≤ 75%	2	1	3	2	4	12
	Furatkitöltés ≤ 60%	4	1	6	2	8	48
	Furatkitöltés ≤ 45%	6	5	3	2	60	36
	Furatkitöltés ≤ 30%	8	3	5	2	48	80
	Furatkitöltés ≤ 15%	10	1	1	2	20	20
						140	196
szárazjég+ 12,5% flux	Furatkitöltés ≤ 75%	2	1	5	2	4	20
	Furatkitöltés ≤ 60%	4	2	2	2	16	16
	Furatkitöltés ≤ 45%	6	2	2	2	24	24
	Furatkitöltés ≤ 30%	8	2	2	2	32	32
	Furatkitöltés ≤ 15%	10	2	1	2	40	20
						116	112
lézer+ 12,5% flux	Furatkitöltés ≤ 75%	2	1	1	2	4	4
	Furatkitöltés ≤ 60%	4	3	1	2	24	8
	Furatkitöltés ≤ 45%	6	6	1	2	72	12
	Furatkitöltés ≤ 30%	8	1	3	2	16	48
	Furatkitöltés ≤ 15%	10	1	1	2	20	20
						136	92

Először a hibaforrás beazonosítására volt szükség. Megkülönböztethetünk hibákat, melyek a forrasztási paraméterek nem megfelelő megválasztásából adódhattak, illetve a panel vagy az alkatrész gyártása során is keletkezhetnek hibák. A teljesség igénye nélkül így beszélhetünk hibaként sok folyasztószer maradványról, a forrasztóanyag vagy forrasztószem felválásáról, rövidzárról, delaminációról, nem megfelelő bevonatvastagságról, nem megfelelő méretű intermetallikum vastagságról, az intermetallikum folytonosságáról, forrasztóanyag repedésről, felemelkedett alkatrészeiről vagy rossz furatkitöltésről.

A tisztítási eljárások összehasonlítása

Mint említettem, az IPC szabvány szerint minden furatkitöltés, amely nem éri el a 75%-ot veszély lehetőségnek tekinthető. Így egy teljes RPN elemzés során az ilyen problémát is egy hibaforrásnak kell tekinteni, melynek súlyossága jelentős. (Ha 1-től 10-ig terjedő skálázást alkalmaz az elemzést végző, a furatkitöltési hiba súlya 10).

Azonban, mivel én csak a furatkitöltési hibával foglalkozom ezen alkatrészek röntgennel történő vizsgálatakor, így további 5 egyenlő tartományra osztottam a furatkitöltést, ahol legnagyobb súlyt a 0 és 15% közé eső még a legkisebb súlyt a 60 és 75% közé eső furatkitöltéshez rendeltem.

Előfordulás szempontjából a hiba azonos panelra vett százalékos arányát mértem fel. Ha a hibajelenség az esetek legalább 18,1%-ban következett be, akkor 10-et, majd pedig két százalékonként csökkentettem a pont értékén.

A felfedezhetőség értékeként egy konstans 2-es számot adtam meg, mivel a hiba detektálhatósága röntgennel viszonylag könnyű, a kivezetések a tesztpanel dizájnjaiból adódóan jól láthatóak. 1-es lenne a szorzó értéke, ha furat még jobban áttekinthető lenne, ennek eszköze a csiszolatkészítés és annak vizsgálata. Nagyobb szorzóértéket akkor adhatnánk, ha a furat nehezen átható lenne, vagy ha csak roncsolásmentes vizuális vizsgálatra lenne lehetőségünk.

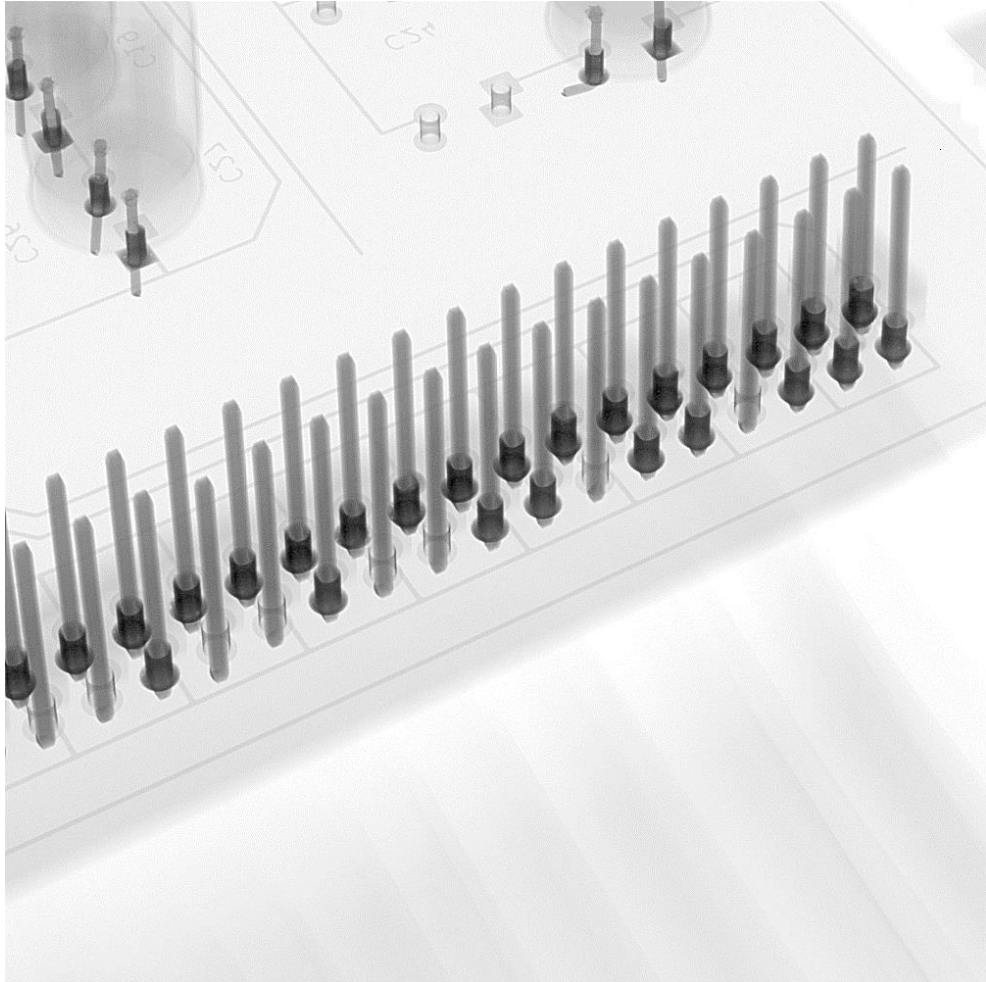
A kísérletek limitált száma miatt nem zárható ki az egyértelműen, hogy az én kísérleteim során egyszer sem előforduló hibafajta nagyobb számban nem következhetne be, ezért nagyobb a szorzat értéke a 15% alatti furatkitöltés eshetőségének.

A szorzatokat összesítettem, így kaptam a HASL referencia panel esetében 68-at, míg ImSn-nél 64-et. Szárazjeges tisztítás során a kockázat mindkét panelbevonat esetén az 1,7-szeresére nőtt. ImSn panelbevonat esetén a lézeres és a plazmás felülettisztítás során is duplájára nőtt a kockázatok száma, még a HASL bevonat tekintetében a lézerezés másfélszeresére a plazmázás viszont háromszorosára növelte a kockázatot.

A tisztítási eljárások összehasonlítása

4.4.3 Hosszú és rövid csatlakozó (J1, J2)

Ahhoz, hogy a TH alkatrészek furatkitöltési tendenciáját megvizsgáljam, két csatlakozósor is beültetésre került a tesztpanelekre.



38. ábra: HASL panelbevonat, lézeres tisztítással J1 alkatrész (részlet)

[saját kép]

A csatlakozósorok értékelése során szintén a röntgenképeket vettem alapul, viszont ebben az esetben azt határoztam meg, hogy a csatlakozók lábainak hány százalékában volt tapasztalható furatkitöltési hiba. (38. ábra)

A tisztítási eljárások összehasonlítása

14. táblázat: A csatlakozósorok furatkitöltési értékelőtáblázata

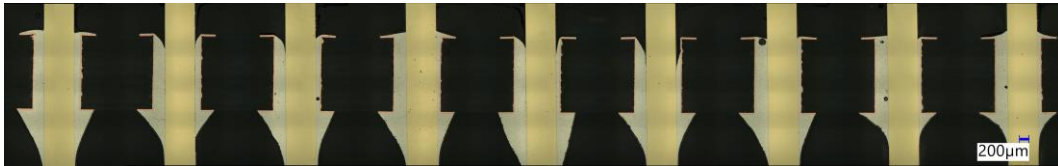
[saját szerkesztés]

Panelbevonat	Tisztítás típusa	Panelonkénti furatkitöltési hibák száma	Átlagos hibaszám tisztítási módszer szerint	A kezelés típusonként egyező panelokra vonatkoztatott furatkitöltési hibák százalékos aránya	Referencia és tisztított panelek hibaszámának különbsége
HASL	100% folyasztószer	1	1	1,19%	-
	plazma 1 + 12,5% folyasztószer	8	7,5	8,93%	7,74%
	plazma 2 + 12,5% folyasztószer	7			
	szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	1	2	1,19%	0,00%
	szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	1			
	lézer + 12,5% folyasztószer	21	21	25,00%	23,81%
ImSn	100% folyasztószer	0	0	0,00%	-
	plazma 1 + 12,5% folyasztószer	7	7,5	8,93%	8,93%
	plazma 2 + 12,5% folyasztószer	8			
	szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	6	6	7,14%	7,14%
	szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	6			
	lézer + 12,5% folyasztószer	12	12	14,29%	14,29%

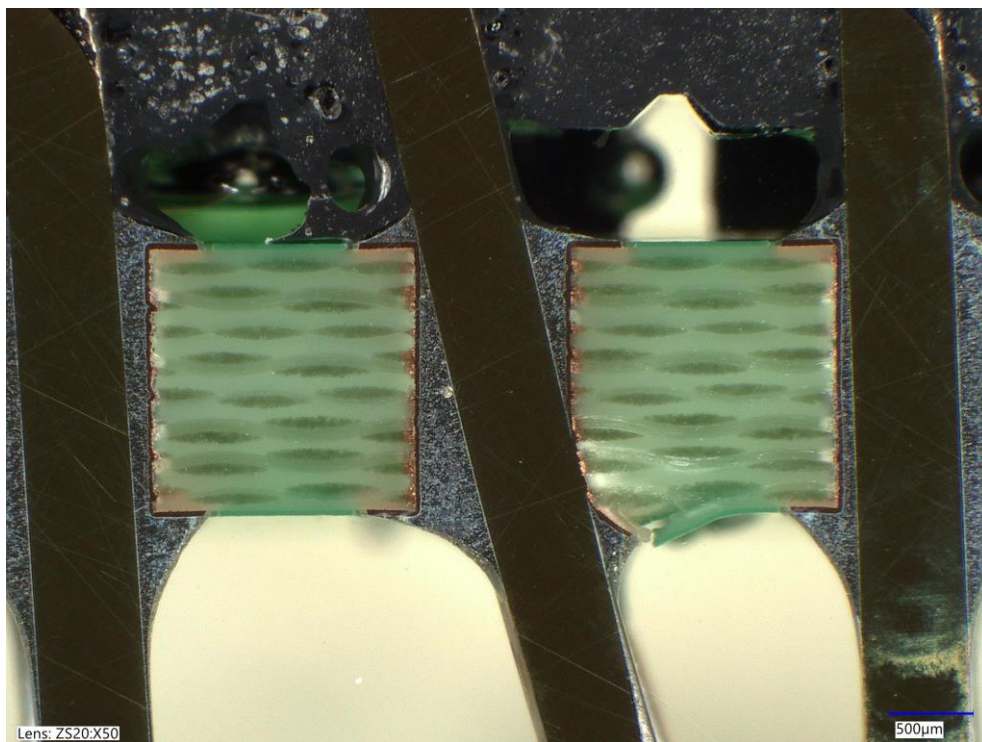
A 14. táblázat alapján elmondható, hogy a csatlakozóknál a HASL panelbevonat esetében nem, az ImSn panelbevonatot alkalmazva pedig 1 pin esetében volt forraszkötési hiba. Az új tisztítási eljárások közül a szárazjeges tisztítás esetében volt a hibák százalékos aránya a legkisebb HASL esetén, 1,19%. ImSn esetén a lábak 7,14%-a nem forradt le, vagy nem megfelelő kitöltésű furattal rendelkezett. A plazmatisztítással kezelt paneleken található csatlakozólábak panelbevonattól függetlenül 8,93%-ban mutatkoztak hibásnak. A lézerkezelt alkatrészlábak negyede nem rendelkezett megfelelő furatkitöltéssel a HASL panelbevonatot vizsgálva, még az ImSn panelbevonat esetében az esetek 14,29% százalékában következett be ez a jelenség.

4.4.4 Keresztmetszeti vizsgálat

Ahhoz, hogy még mélyebb betekintést nyerhessek az adott tisztítási módszer felhasználásával gyártott termékek forrasztási eredményeinek tendenciájába, a J2 csatlakozókból keresztmetszeti csiszolatokat készítettem. A csiszolati minta korlátozott mérete miatt a 12 lábból csak 9 vizsgálatára volt lehetőség. Minden esetben azonos pozícióba eső 9 láb csiszolatát készítettem el. (39. ábra)



39. ábra: A szárazjéggel tisztított ImSn bevonatú panel J2 csiszolati képe – furatkitöltés
[saját kép]



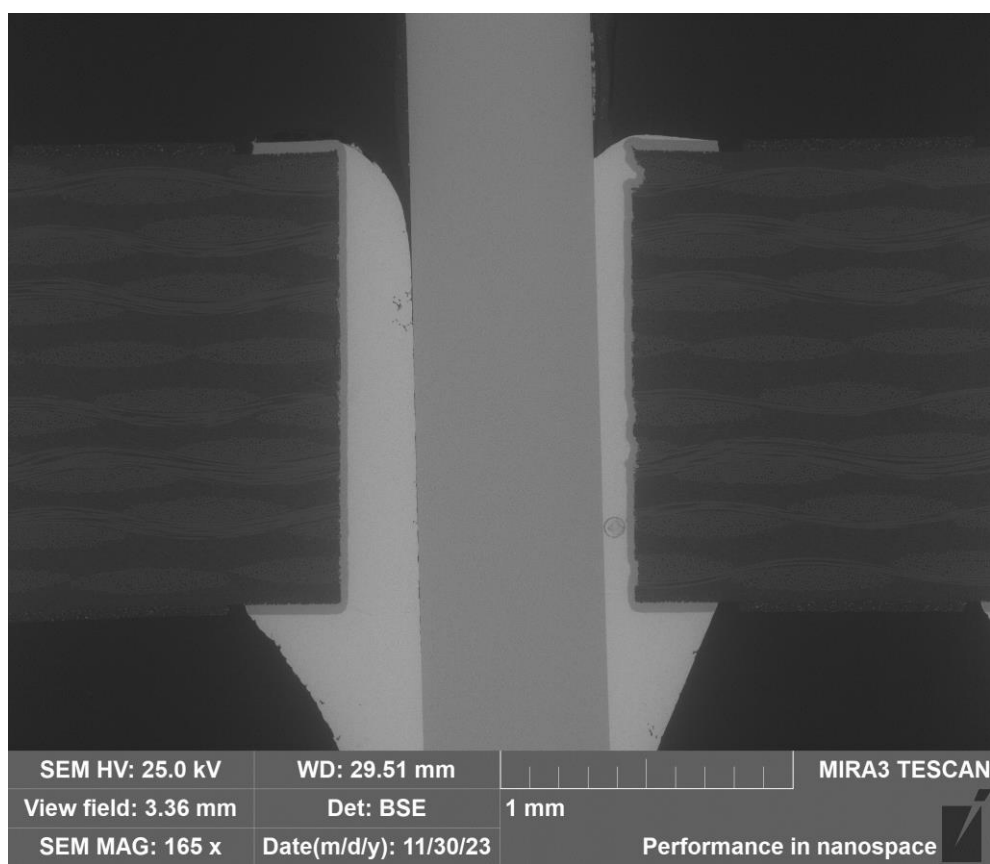
40. ábra: Az ImSn bevonatú referenciapanel J2 – megnyomott furatfal, delamináció és a csatlakozó tokozásának megolvadása
[saját kép]

A csiszolati mintákon kiválóan meg lehet mérni a furatkitöltést, illetve más problémák felfedezésére jó megoldást nyújt. A korábban már tárgyalt ImSn referenciapanel delaminációs esetének csiszolati megfigyeléséhez készített képpel

A tisztítási eljárások összehasonlítása

(40. ábra), más problémákról is sikerült felvételt készítenem. A csatlakozó tokozása több esetben megolvadt a forrasztás során, melynek oka lehet hibás alkatrész vagy a forrasztás során alkalmazott hőmérséklet nem megfelelő megválasztása. Ez azt a problémát vetette fel, hogy ha az befolyt a furatba, jelentősen befolyásolhatta a furakitöltés mértékét. Ez a jelenség a 39. ábrán is több alkatrészláb esetében megfigyelhető. Továbbá, az átfolyási oldalon a panel felszínén okozott problémát, bizonyos esetekben szintén delaminációhoz vezetett.

Mivel a furatkitöltöttség jelenségével már foglalkoztam, a csiszolati mintákat, az intermetallikus rétegvastagság meghatározása során alkalmaztam, ennek méréséhez elektronmikroszkópi felvételeket használtam fel.



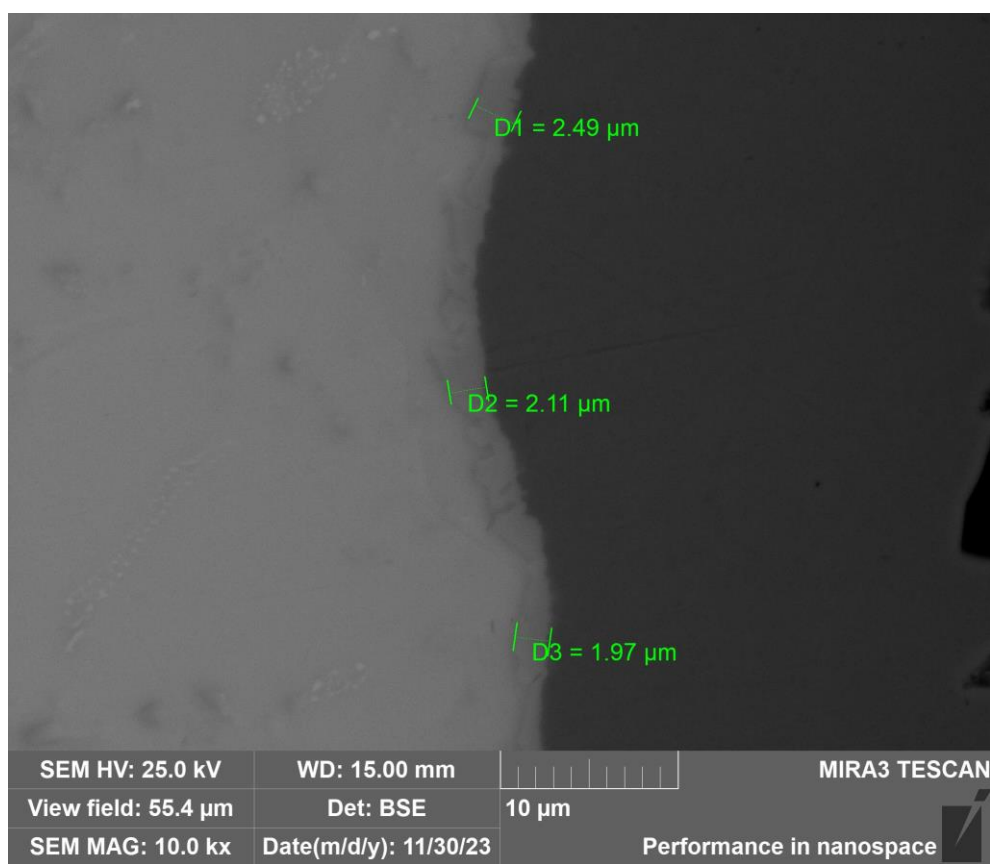
41. ábra: A szárazjéggel tisztított ImSn bevonatú panel J2 balról 3. lába – az alkatrész és a forrasztanyag közötti rész
[saját kép]

Az elektronmikroszkópi vizsgálat (és néhány fénymikroszkópi vizsgálat) során további problémát fedeztem fel. Néhány esetben, tisztítási eljárástól függetlenül, sőt a HASL referenciapanel csiszolati képén is előfordult, hogy a forrasztanyag és

A tisztítási eljárások összehasonlítása

az alkatrész között nem, vagy nem folytonos intermetallikum alakult ki. Ezen probléma feltételezhetően azért következett be, mert az alkatrész beültetése, vagy a panel szállítása során szennyező kerülhetett az alkatrész lábra. Az alkatrész bevonatát nem minősíteném problémásnak, hiszen az esetek többségében kialakult az alkatrészláb és forrasztanyag között az intermetallikum.

Az intermetallikumról, azért, hogy átfogó képet adhassak, minden esetben olyan pin-nél vizsgáltam paneloldalról az intermetallikumot, ahol alkatrészdoldalról problémát tapasztaltam, ezzel is bizonyítva, hogy azoknál a lábaknál, ahol feltehetően szennyezés volt panel oldali részről minden alkalommal létrejött a forrasztás. (42. ábra)



42. ábra: A szárazjéggel tisztított ImSn bevonatú panel J2 balról 3. lába – intermetallikum szélessége a panel oldalon

[saját kép]

Minden intermetallikum vastagságot 3 mérési eredmény (42. ábra) átlagából határoztam meg. (15. táblázat)

A tisztítási eljárások összehasonlítása

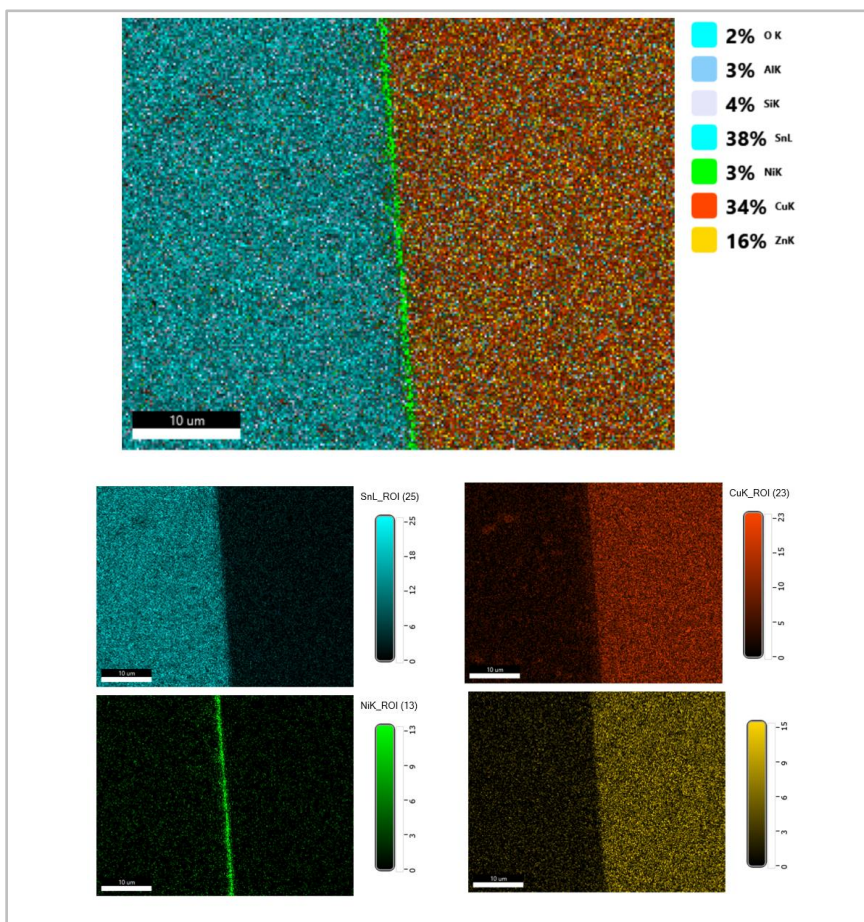
15. táblázat: az intermetallikus rétegvastagság

[saját szerkesztés]

előkezelés/alkatrészleírás	1.mintavétel [μm]	2.mintavétel [μm]	3.mintavétel [μm]	átlag [μm]	eltérés a referenciához viszonyítva [μm]
HASL					
100% folyasztószer	3,28	4,11	2,17	3,19	-
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	2,32	1,78	2,04	2,05	1,14
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	2,65	2,34	2,45	2,48	0,71
lézer + 2,5% folyasztószer	1,68	2,12	1,77	1,86	1,33
ImSn					
100% folyasztószer	1,39	3,22	2,87	2,49	-
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	2,49	2,11	1,97	2,19	0,3
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	1,78	2,05	1,51	1,78	0,71
lézer + 12,5% folyasztószer	1,72	1,56	1,64	1,64	0,85

Az átlagos intermetallikus rétegvastagságot vizsgálva a referenciákhoz viszonyítva minden tisztítási eljárást alkalmazva vékonyabb intermetallikum jött létre. Legnagyobb csökkenés a lézerrel felületkezelt panelek esetében jött létre. A szárazjéggel tisztított paneleknél követően minkét esetben 0,71 μm csökkent az intermetallikum mérete. A plazmakezelt HASL bevonatú paneleken közel 1 μm-os, az ImSn vizsgálatnál viszont csupán 0,3 μm-os csökkenés volt a rétegvastagságban tapasztalható.

A tisztítási eljárások összehasonlítása



43. ábra: ImSn referencia panel J2 balról 4. lába – EDX elemanalízise alkatrész és forrasztvány között

[saját ábra]

Az elektronmikroszkóp EDX eszközkiegészítését alkalmazva sikerült meghatároznom az anyagösszetételt. Példaként (43. ábra) az ImSn referenciapanel alkatrész oldal felőli vizsgálatát emeltem ki. Az elemanalízisek során sikerült meghatároznom, hogy az alkatrészláb anyaga sárgaréz, bevonata nikkel, a furat anyaga pedig réz volt. Az analízis során fellelhető volt még szilícium, mely a csiszolatkészítésből adódik, illetve oxigén, ami a csiszolat felületén kialakult felületi oxidréteg lehet.

A vizsgálati eljárások tapasztalatait a 16. táblázat foglalja össze. Az egyes vizsgálatok során aszerint rangsoroltam a 3 tisztítási eljárást, hogy melyik adott a referencia panelhez legközelebbi eredményt. (16. táblázat).

Összefoglalás, javaslatlitételek, további kutatási területek megjelölése

16. táblázat: A forrasztási eredmények összefoglalása

[saját szerkesztés]

	HASL			ImSn		
	plazma	lézer	szárazjég	plazma	lézer	szárazjég
helyi ionos szennyezettség	3.	2.	1.	2.	1.	3.
furatkitöltésre vonatkoztatott részleges FMEA szerint (R,C)	3.	2.	1.	3.	1.	2.
furatkitöltés csatlakozók szerint (J1,J2)	2.	3.	1.	2.	3.	1.
IMC vastagsága	2.	3.	1.	1.	3.	2.

A vizsgálati eljárásokat követően választ adhatok utolsó két kutatási kérdésemre is.

K6: Van, és ha igen mekkora mértékű különbség a HASL és ImSn forraszthatósága között?

A referencia panelok mindkét esetben, egyformán jól forraszthatóak voltak. Azonban azoknál a különböző bevonatú, de azonos tisztítási eljárással kezelt paneloknál különböző forrasztási eredményeket kaptam. A plazmával, illetve szárazjéggel kezelt panelok esetén a HASL, míg a lézerrel tisztított panelok esetében az ImSn panelokon kaptam jobb forrasztási eredményt. Ezeket a megfigyeléseket a 13. és 14. táblázatok támasztják alá.

K7: Az új eljárásokat alkalmazva hasonló forrasztási eredmény érhető-e el, mint a jelenlegi gyártásban?

A vizsgálatok egyértelműen bizonyítják, hogy a vizsgált tisztítási paraméterek mellett nem lehet a jelenlegi forrasztás során használt eredményeket elérni. A 16. összefoglaló táblázat alapján a legközelebbi eredményt a szárazjéggel történő tisztítást alkalmazva értem el, ezt a plazmatisztítás, majd a lézeres felülettisztítás követte.

5 Összefoglalás, javaslatlitételek, további kutatási területek megjelölése

A korróziós indexre vonatkoztatott vizsgálatok alátámasztják, hogy bármelyik vizsgált tisztítási eljárást alkalmazva, jelentősen csökkenthető a jelenlegi forrasztás problémája, az utólagosan a panelon maradó fehér maradvány, ezért indokolt a paradigmaváltás.

Összefoglalás, javaslattetelek, további kutatási területek megjelölése

A tisztítások során alkalmazott paraméterbeállítás azonban nem vezetett a jelenlegi gyártás során tapasztalható forrasztási eredményekhez, így javaslom azok egyenkénti paramétermeghatározását, a nedvesíthetőségi erők felmérését különböző folyasztószer és folyasztószer koncentrációk mellett.

A jelenlegi kutatásom során, csak ön panelbevonatokat alkalmazva végeztem kísérleteket, így javaslom más panelbevonatok melletti vizsgálatát is az új tisztítási eljárásoknak.

A forrasztási kísérletek a plazmatisztított panelekre vonatkoztatott tapasztalatai alátámasztják, hogy az általam a 3. fejezetben meghatározott 50%-os koncentrációjú folyasztószer alkalmazása indokolt.

A plazmakezeléssel kapcsolatban továbbá, az alábbi javaslatokat teszem.

Eredményeimből kiderült, hogy a gyorsított (3,3 cm/s) eljárással érhető el jobb nedvesítési eredmény, ezért javaslom a kezelési sebesség további növelésével elért nedvesíthetőségi vizsgálatokat.

A 25. és 26. ábra a két plazmakeverék (5% és 10% hidrogéntartamú nitrogénből képzett plazma) gyorsított sebességű hatását vizsgálta. Az összehasonlítás fő célja az volt, hogy rámutasson, hogy az adott bázisú folyasztószer koncentrációjának csökkentésével sikerül-e továbbra is olyan nedvesítési eredményt elérni, mint a hígítatlan folyasztószer használata melletti plazmakezeletlen alkatrészeknél. Tovább megvizsgálva az egyes keverékek eredményeit, az tapasztalható, hogy míg a 10%-os formálógáz esetén a 100%-os folyasztószerrel jobb nedvesítés érhető el, addig az eredményekre illeszthető lineáris trendvonalak eltérő meredeksége miatt, az 5%-os keverék eredménye a felére csökkentett folyasztószer mennyiséget vizsgálva jobb eredményt ad. További kutatás szükséges a plazmakeverék összetételének hatásvizsgálatára.

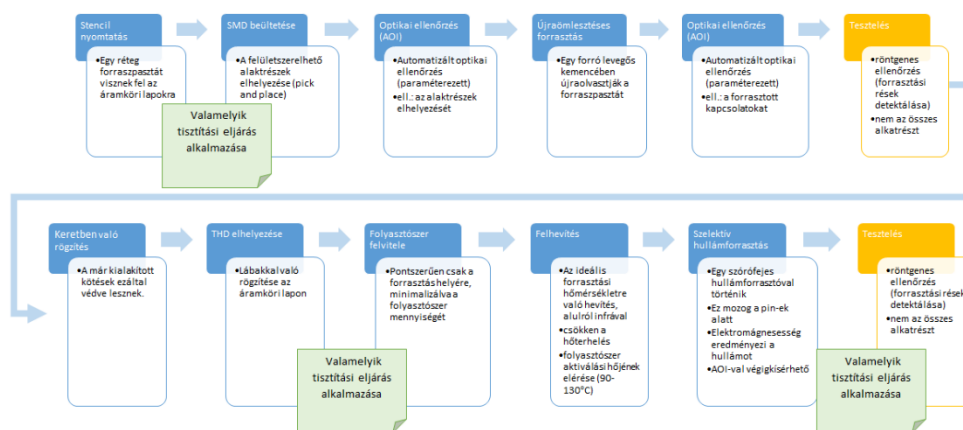
A kísérletek arra is rámutattak, hogy csak az alkoholbázisú folyasztószer használata mellett van jelentős eredménye a plazmatisztításnak. Ezt a kombinált tisztítási technológiát alkalmazva hasonló eredmények kaphatóak, mint a plazmakezeletlen vízbázisú hígítatlan folyasztószerrel kezelt alkatrészek esetén. A forrasztási kísérlet eredmények is figyelembevételével, a vizsgált eljárások közül, így az 5% gyorsított plazmabeállítást javaslom a TH alkatrészek kezelésére, mert

Összefoglalás, javaslattételek, további kutatási területek megjelölése

ezzel a jelenleg felhasznált alkoholos folyasztsószert mennyiségét felére lehetséges csökkenteni.

A tisztítási eljárások azért bírnak ipari jelentőséggel, mert a technikát alkalmazva nem csak a folyasztsószert mennyisége csökken drasztikusan, de mivel a módszer további tisztítást nem igénylő folyasztsószertel működőképes, így nincs szükség későbbi vegyi mosásra sem, egy sokkal környezetbarátabb megoldásról beszélhetünk. Megjegyzendő, hogy a szakirodalom több utalást is tesz már az utólagos vegyi mosás szárazjeges tisztítással történő kiváltására. Így további kutatási irány lehet a téma vizsgálata.

A teljes gyártósori folyasztsószert felvitel optimalizálása érdekében további kísérleteket javaslok az SMD alkatrészek és a nyers panelok tisztítási vizsgálataira. (44. ábra).



44. ábra: A tisztítási eljárás forrasztási láncba történő implementálása

[saját ábra]

A tisztítási eljárások gyártósorba történő implementációja megtörténhet az SMD és THD alkatrészek elhelyezése előtt, illetve a forrasztást követően, ezzel környezetvédelmi szempontból optimalizálva a forrasztás során alkalmazott folyasztsószert mennyiségét.

Irodalomjegyzék

- [1] Amerikai Kereskedelmi Kamara (AmCham) Elektronikai Gyártók Bizottsága, Elektronikai Gyártás, Debrecen: Ábrahám László, NI Hungary ügyvezető igazgató, AmCham Elektronikai Gyártók Bizottság elnöke, 2019.
- [2] C. Fonseka és J. Jayasinghe, „Implementation of an Automatic Optical Inspection System for Solder Quality Classification of THT Solder Joints,” *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, %1. kötet9, %1. szám2, pp. 353-366, 2019..
- [3] P. Horowitz és W. Hill, The Art of Electronics, Third Edition, New York: Cambridge University Press, 2015., pp. 47-48..
- [4] M. Aziz, M. Abdullah, C. Khor, I. Azid, A. Jalar és F. Ani, „Influence of printed circuit board thickness in wave soldering,” *Scientia Iranica*, %1. kötet24, %1. szám6, pp. 2963-2976., 2017..
- [5] Európai Bizottság, „Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS),” 2023.. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/index_en.htm. [Hozzáférés dátuma: április 2023].
- [6] R. Seidel, F. Leibold, N. Thielen és J. Franke, „Prediction of the Solder Rise in Selective Wave Soldering Comparing Decision Tree and Logistic Regression,” Demanovska Valley, 2020..
- [7] T. I. Al-Ma'aiteh, O. Krammer és B. Illés, „Transient Numerical Modelling of the Pin-in-Paste Technology,” *Applied Sciences*, %1. kötet11, %1. szám10, p. 4670, 2021..
- [8] C. Tuo, Z. Yao, W. Liu, S. Liu, L. Liu, Z. Chen, S. Huang, C. Liu és X. Cao, „Fabrication and characteristics of Cu@Ag composite solder preform by electromagnetic compaction for power electronics,” *Journal of Materials Processing Tech.*, %1. kötet292, p. 117056, 2021.

- [9] Stannol GmbH, „Standards for soldering fluxes,” 2017. [Online]. Available:
https://www.soselectronic.com/a_info/resource/pdf/ine/Fluxes_EN.pdf.
[Hozzáférés dátuma: 20. február 2023].
- [10] Nemzetközi Szabványügyi Szervezet, *ISO 9454-1 Soft soldering fluxes - Classification and requirements - Part 1: Classification, labelling and packaging*, 2016.
- [11] Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság, *IEC 61190-1-3 International standard - Requirements for electronic grade solder alloys and fluxes and non-fluxed solid solder for electronic soldering applications*, Geneva, 2017..
- [12] E. Groves és J. Wol, „Choosing the Correct Flux - Types and Their Advantages/Disadvantages,” *SMT Surface Mount Technology Magazine*, %1. kötet32, %1. szám1, pp. 102-111., 2017..
- [13] S. Rádai, „A forrasztástechnika egyik ősi problémája: Az ionos szennyeződések,” 2010.
- [14] Interflux Electronics, „IF 2005C,” 2020..
- [15] Balver Zinn - Cobar, „95-DRX-M+,” 2021..
- [16] G. Bagyinszki és E. Bitay, *Felületkezelés*, Kolozsvár: Az Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2009..
- [17] R. Kohli, „Applications of Solid Carbon Dioxide (Dry Ice) Pellet Blasting for Removal of Surface Contaminants,” in *Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques*, Elsevier, 2019, pp. 117-169.
- [18] D. P. R. Thanu, E. S. Srinadhu, M. Zhao, N. V. Dole és M. Keswani, „Chapter 8 - Fundamentals and Applications of Plasma Cleaning,” in *Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques*, Elsevier, 2019, pp. 289-353..
- [19] Európai Bizottság, „Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE),” 2023.. [Online]. Available:

- https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en. [Hozzáférés dátuma: 14. március 2023].
- [20] A. Dr. Halmai és K. Dr. Samu, Mikromechanika, BME MOGI, 2014..
- [21] G. Dr. Bánhegyi, „Műanyagok felületének kezelése plazmával,” *Műanyagipari szemle*, %1. kötet2011, %1. szám3, 2011..
- [22] H. T. Sasmazel, M. Alazzawi és N. K. A. Alsahib, „Atmospheric Pressure Plasma Surface Treatment of Polymers and Influence on Cell Cultivation,” *Molecules*, %1. kötet26, %1. szám6, p. 1665, 2021.
- [23] A. Marshall, „Explanation of Low Pressure Plasma Cleaning,” *inseto*, 2020..
- [24] J. Kellar, M. Shekargoftar, R. Krumpolec és T. Homola, „Activation of polycarbonate (PC) surfaces by atmospheric pressure plasma in ambient air,” *Polymer Testing*, %1. kötet67, pp. 428-434., 2018..
- [25] T. Mui, L. Silva, V. Prysiashnyi és K. Kostov, „Surface modification of aluminium alloys by atmospheric pressure plasma treatments for enhancement of their adhesion properties,” *Surface and Coatings Technology*, %1. kötet312, pp. 32-36., 2017..
- [26] M. Berczeli és W. Zoltán, „Plazma- és lézersugárral felületkezelt anyagok topográfiai elemzésének lehetőségei,” *Gradus*, %1. kötet6, %1. szám1, pp. 175-184, 2019.
- [27] A. Dr. Lukács, *Elektronikai Technológia I.*, 2022..
- [28] Plasmatreat GmbH, 2022.
- [29] P. Regős, „A forraszthatóság és a forraszthatóság vizsgálata,” *ELEKTROnet*, %1. kötetXV., %1. szám7., pp. 65-68., 2006..
- [30] D.-H. Jung és J.-P. Jung, „Review of the wettability of solder with a wetting balance test for recent advanced microelectronic packaging,” *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, %1. kötet44, %1. szám4, pp. 324-343-, 2019..

- [31] F. Xu Ph.D, R. Farrell és R. Mohanty Ph.D., To Quantify a Wetting Balance Curve, West Haven: Enthone Inc., 2015..
- [32] T. Munson, „How Clean is Clean?,” *Circuitnet - Covering the World of Electronics Manufacturing*, 2005.
- [33] F. Inc., *Localized Electronics Cleanliness Tester and Residue Extractor*, 2018..
- [34] A. Dr. Lukács, *Elektronikai Technológiák II.*, 2023..
- [35] I. Pozsgai, „Mikroszkópia és lokális analízis,” *Fizikai Szemle*, %1. kötet56, %1. szám6, pp. 185-189, 2006.
- [36] B. Csóka, „Képalkotó és felületvizsgáló módszerek,” in *Illusztrált segédanyag a modern műszeres analitikai kémia oktatásához*, Szegedi Tudományegyetem, Pécsi Tudományegyetem, 2013.
- [37] I. Csóka és A. Kovács, „Minőségfejlesztési módszerek, technikák III.,” in *Minőségmenedzsment*, SZTE Elektronikus Tananyag, 2018.
- [38] R. B. Berntson, R. Lasky és K. P. Pfluke, „Through-Hole Assembly Options for Mixed Technology Boards,” in *Indium Corporation of America* , Utica, 2004..
- [39] Interflux Electronics, <https://interflux.com/>, 2022..
- [40] Balver Zinn - Cobar, <https://www.balverzinn.com/en/>, 2022..
- [41] Stannol GmbH, <https://www.stannol.de/en/>, 2023.

Mellékletek

A furatszerelési eljárások technológiai összehasonlítása

M-1. táblázat: A furatszerelt alkatrészek rögzítésére szolgáló módszerek összehasonlítása – 1

[saját szerkesztés [7] [8] [38] alapján]

	Technológia	Előnyök	Hátrányok	Javasolt alkalmazási terület
Hullámforrasztási eljárás	Hullámforrasztás (ragasztással)	- Alacsony anyagköltség - Sok kisebb üzemben használt	- Nehéz az egyenletes hozam létrehozása hullámforrasztással - További folyamat és eszköz a fenntartás	Nagy mennyiségben gyártott, nagy, egy oldalt felületszerelt csatlakozókkal ellátott lapok forrasztásakor
	Szelektív hullámforrasztás - kerettel	- Alacsony anyagköltség - Meglévő berendezést hasznosít - Nagy mennyiségű gyártásban alkalmazható	- Nehéz a magas hozam létrehozása hullámforrasztással - További folyamat és eszköz a fenntartás - Nem rugalmas – keret specifikus - A keretek karbantartási költségei (tisztítás)	Nagy mennyiségben gyártott, két oldalt felület és furatszerelt lapok forrasztásakor
	Szelektív hullámforrasztás - parametrizált pontszerű forrasztás (solder fountain)	- Alacsony anyagköltség - Nagy mennyiségű gyártásban alkalmazható	- Drága kezdeti költségek Start-up idő – programozás - További folyamat és eszköz a fenntartás	Nagy mennyiségben gyártott, két oldalt felület és furatszerelt lapok forrasztásakor
Paszta folyamat	Pin-in-paste (pasztába ültetés) + túlnyomtatás (stencillel)	- Meglévő eszközt hasznosít - Nincs további folyamat- vagy eszköz-költség	- Nehezebb tervezési folyamat a panelek bonyolódásával - További eszköz-költségek	Vékony nyomtatott huzalozású lapok forrasztáshoz
	Pin-in-paste (pasztába ültetés) + túlnyomtatás, majd oldószeres eltávolítás	Későbbi forrasztóanyag hozzáadása is lehetséges	További folyamat és eszköz fenntartás	Vékony nyomtatott huzalozású lapok forrasztáshoz, ahol a felületi kihasználtság miatt nem engedhető meg a stencil használat
Előforma (preform) folyamat	Előforma alkalmazása (folyasztószer bevonattal)	Lehetséges pontos forrasztóanyag megadás	- Növeli az anyaglistát (BOM-ot) - Felmerül további eszköz-költség a paszta megfelelő helyre történő nyomtatásához	Előírt mennyiségű forrasztóanyagot alakításakor
	Előforma alkalmazása + forrasztópaszta	Lehetséges pontos forrasztóanyag megadás, nem szükséges a stencil használata	- Növeli az anyaglistát (BOM-ot) - Növeli a gyártásidőt a forma elhelyezésével	Két oldalt felület és furatszerelt, sok "fine-pitch" alkatrésszel ellátott lapok forrasztásakor

Mellékletek

M-2. táblázat: A furatszerelt alkatrészek rögzítésére szolgáló módszerek összehasonlítása – 2

[saját szerkesztés [38] alapján]

	Technológia	Előnyök	Hátrányok	Javasolt alkalmazási terület
Mechanikai	Forraszpasztta + Ragasztó, csat és csavar	Mechanikailag erősebb kötés érhető el a lyukak ragasztóval való feltöltésével, a forrasztóanyagok csak a villamos kötéseknek kell létrehozni	- Növeli az anyaglistát (BOM-ot) - További folyamat és eszköz a fenntartás - Megsérülhet a felület	Nem gyakori, bonyolult kis mennyiségben gyártott lapok forrasztásakor
Pontforrasztás	Robotizált forrasztás forrasztóhuzalla	- Rugalmas megoldás - Alacsony anyagköltség	- Megnövekedő folyamatidő – csak egy pontban történik forrasztás - Start-up idő – programozás - További folyamat és eszköz a fenntartás	Bonyolult kis mennyiségben gyártott lapok forrasztásakor
	Kézi forrasztás forrasztóhuzalla	- Rugalmas megoldás - Alacsony anyagköltség	- Megnövekedő folyamatidő – csak egy pontban történik forrasztás - Munkaerőköltségek	Bonyolult kis mennyiségben gyártott lapok forrasztásakor

Mellékletek

Piaci kitekintés a folyasztószer felhasználási trendjeinek meghatározására

Az Interflux egy belga vállalat, központja Gentben található. 12 országban rendelkezik leányvállalattal (köztük Magyarországon is), és 3 gyártóegységet üzemeltet. A vállalat nagyon büszke innovációira, hiszen ez volt az első vállalat, amely tisztítást nem igénylő folyasztószert dobott a piacra. A vállalat emellett a fenntarthatóságra is nagy hangsúlyt helyez. [39]

M-3. táblázat: Interflux által gyártott folyasztószerek és tulajdonságaik

[saját szerkesztés [39] alapján]

Megnevezés	Jellemző tulajdonság, felhasználási terület, értékajánlat	Szilárdanyag-tartalom	Csoportosítás szilárdanyag-tartalom szerint	Besorolás ISO szerint	Besorolás IEC szerint
IF 2005C	Folyasztóhab, permetező fluxus, hullámforrasztás, merítési forrasztás, Jet fluxus, szelektív forrasztás - nincs szükség utólagos tisztításra	3,30%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkohóbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
IF 2005M	Hullámforrasztás, Merítési forrasztás, szelektív forrasztás, folyasztóhab, permetező fluxus, Jet fluxus	1,85%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkohóbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
OSPI 3311M	OSP lapok forrasztásához, Szelektív forrasztás, hullámforrasztás	5,30%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkohóbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
IF 2005K	Folyasztóhab, Jet fluxus, szelektív forrasztás, hullámforrasztás, permetező fluxus	2,50%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkohóbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
IF 3006	Hullámforrasztás, Jet fluxus, permetező fluxus, folyasztóhab, szelektív forrasztás, előbádogozás; csökkentett alkoholtartam	3,20%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkohóbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
SelectIF 2040	szelektív forrasztás, jet fluxus	6,50%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
PacIFic 2009M	szelektív forrasztás, jet fluxus, permetező fluxus, előbádogozás, hullámforrasztás	3,70%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
PacIFic 2009MLF	szelektív forrasztás, jet fluxus, permetező fluxus, hullámforrasztás	3,60%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
PacIF 2009MLF-E	szelektív forrasztás, jet fluxus, permetező fluxus, hullámforrasztás	3,60%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
PacIFic 2010F	folyasztóhab, hullámforrasztás, jet fluxus, permetező fluxus	2,50%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO
AF 4818-PbF	hullámforrasztás, permetező fluxus, jet fluxus	5,00%	„Tisztítást nem igénylő”/	nincs az adatlapon feltüntetve	ROLO

Mellékletek

			Alkoholbázisú/ gyantatartalmú		
IF 8300	stencilnyomtatás, kiadagolás, reflow forrasztás, merítési forrasztás, átdolgozás és javítás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ műgyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	RELO
IF 7500 HAB	stencilnyomtatás, kiadagolás, reflow forrasztás, merítési forrasztás, átdolgozás és javítás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	ROM0
IF 8001	átdolgozás és javítás, kézi forrasztás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ műgyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	RELO
IF 6000	átdolgozás és javítás, kézi forrasztás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	ROLO
TerrIFic RP65	átdolgozás és javítás, kézi forrasztás	-	„Tisztítást nem igénylő”/Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORLO

A Balver Zinn szintén a vezető forrasztással foglalkozó vállalatok közé tartozik. Központja Németországban, Balve-ban található. 2007-ben beolvadt a cégbe a Cobar vállalat is, így ezóta Baver Zinn Cobar néven ismert a csoport. A német központ mellett Hollandiában és az USA-ban rendelkezik leányvállalatokkal. [40]

M-4. táblázat: Balver Zinn – Cobar által gyártott folyasztszerek és tulajdonságaik

[saját szerkesztés [40] alapján]

Megnevezés	Jellemző tulajdonság, felhasználási terület, értékajánlat	Szilárdanyag- tartalom	Csoportosítás	Besorolás ISO szerint	Besorolás IEC szerint
95-DRX-M+	Alapja szerves savak, alig hagy maga után szennyeződést. Megszünteti a hídkepződést.	3,30%	(Mű)gyantatartalmú/ Csökkentett szilárdanyag-tartalmú/ R (nem aktív)	2.1.3.1	ORLO
95-DRX-M	Részben vízbázisú folyasztszert hullámforrasztáshoz. Műgyanta alapú megakadályozza a forrasztógömbök képződését.	1,80%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	1.2.3.A	RELO
95-SEL	Részben vízbázisú folyasztszert hullámforrasztáshoz. Műgyanta alapú standard felhasználásra	1,80%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	1.2.3.A	RELO
94-SEL	Részben vízbázisú folyasztszert hullámforrasztáshoz. Műgyanta alapú, magas megbízhatóságú	2,60%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	1.2.3.A	RELO
327-SEL	Szelektív forrasztáshoz, természetes gyantaalapú, magas SIR értékekkel	4,90%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	1.1.3.A	ROLO
385-SEL	Szelektív forrasztáshoz, természetes gyantaalapú	1,90%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	1.2.3.A	RELO

Mellékletek

			Alkoholbázisú/ múgyantatartalmú		
323-ITM	Szelektív forrasztáshoz, természetes gyantaalapú	3,80%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	1.2.2.2	ROL1
385-D	Magas megbízhatóságú automatizált forrasztáshoz, nitrogén atmoszférában, múgyanta alapú, megakadályozza a dendridképződést	2,70%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ múgyantatartalmú	1.2.3.A	RELO
390-RO-HT	Magas megbízhatóságú applikációhoz, magas SIR érték	3,40%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	1.1.2.A	ROLO
390-RX-HT	Magas megbízhatóságú automatizált applikációhoz, magas SIR érték	2,20%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ múgyantatartalmú	1.2.2.2	RELO
390-RX-HT+	Hullámforrasztáshoz, magas megbízhatóságú automatizált forrasztáshoz. Nincs látható maradék, magas SIR érték	3,00%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mú)gyantát	2.2.2.1	ORLO
REGI-007	Hullámforrasztáshoz, természetes gyanta alapú, alig hagy maga után szennyeződést Megakadályozza a hídképződést	4,00%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mú)gyantát	2.1.3.1	ORLO
327	A maradékok nem higroszkóposak, ezért nagyon ellenállóak a korrózióval szemben.	4,90%	(Mú)gyantatartalmú/ csökkentett gyantatartalmú	1.1.2.A	ROL1

A Stannol egy több, mint 140 éves múlttal rendelkező német vállalat, melynek székhelye Velbert-ben található. A forrasztástechnológia egyik vezető európai vállalata. Termékpalettájának részei például: forraszhuzalok, forraszpaszták, folyasztószerek és mérőeszközök. [41]

M-5. táblázat: Stannol által gyártott folyasztószerek és tulajdonságaik

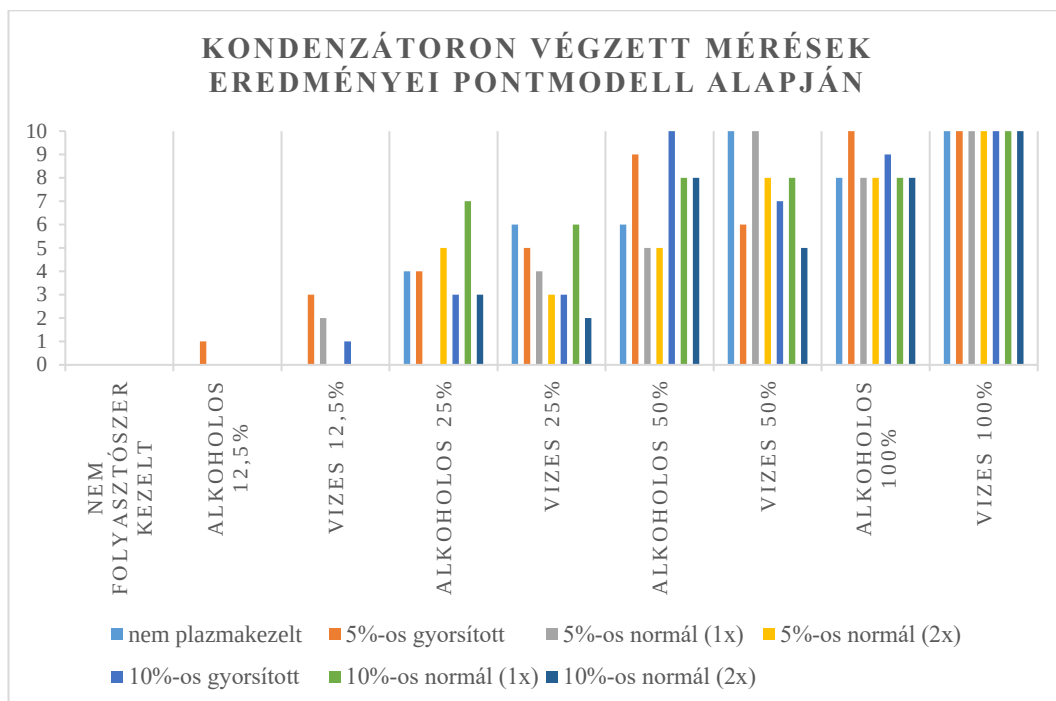
[saját szerkesztés [41] alapján]

Megnevezés	Jellemző tulajdonság, felhasználási terület, értékajánlat	Szilárdanyag - tartalom	Csoportosítás	Besorolás ISO szerint	Besorolás IEC szerint
EF200	Szelektív hullámforrasztás	2%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mú)gyantát	2.2.3.A	ORLO
EF210	Szelektív hullámforrasztás	2,1%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mú)gyantát	2.2.3.A	ORLO
EF250	Szelektív hullámforrasztás	2,5%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mú)gyantát	2.2.3.A	ORLO

Mellékletek

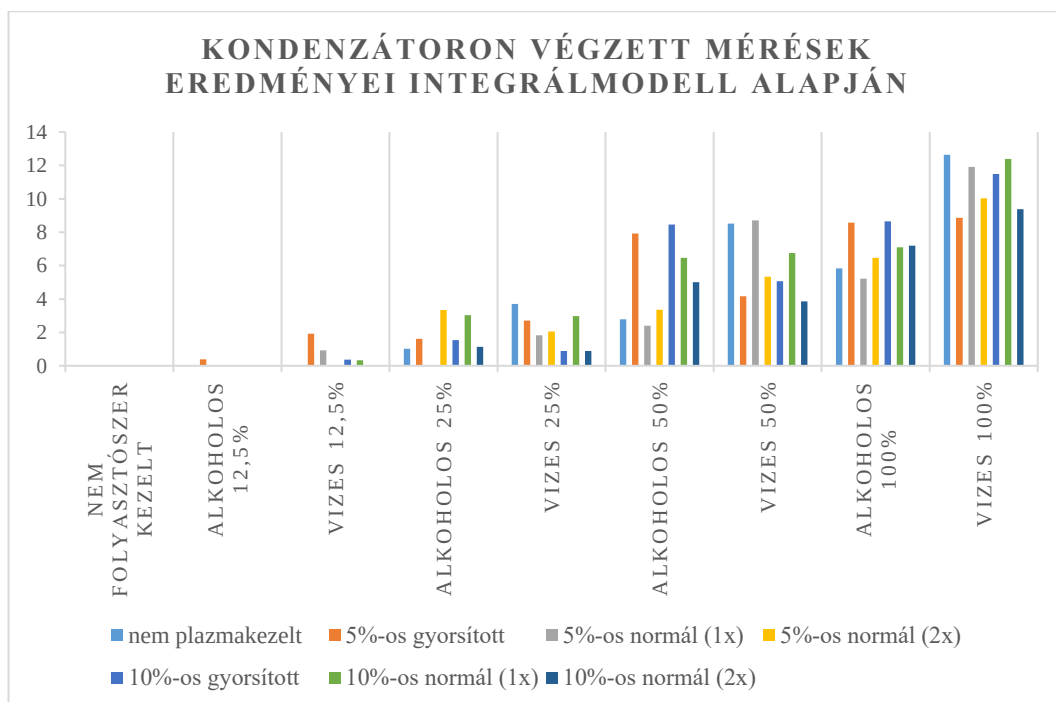
EF270	Szelektív hullámforrasztás	2,7%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
EF270F	Szelektív hullámforrasztás	2,7%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
EF330	Szelektív hullámforrasztás	3,3%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
EF350	Szelektív hullámforrasztás	3,5%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
EF350 Bio	Szelektív hullámforrasztás	3,5%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
WF130	Szelektív hullámforrasztás	3%	„Tisztítást nem igénylő” / Vízbázisú	2.1.3.A	ORLO
WF131	Szelektív hullámforrasztás	2,6%	„Tisztítást nem igénylő” / Vízbázisú	2.1.3.A	ORLO
WF300F	Hullámforrasztás	4,6%	„Tisztítást nem igénylő” / Vízbázisú	2.1.3.A	ORM0
WF300S	Hullámforrasztás	4,6%	„Tisztítást nem igénylő” / Vízbázisú	2.1.3.A	ORM0
SF1000	Szelektív hullámforrasztás	2,5%	„Tisztítást nem igénylő” / Vízbázisú	2.1.3.A	ORLO
500-6B	Szelektív hullámforrasztás	6%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	1.1.3.A	ROLO
500-17-1	Felületszerelt alkatrészekhez	15%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	1.1.3.A	ROLO
500-3431BF	Hullámforrasztás	4,4%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
900-7-1H	Felületszerelt alkatrészekhez	1,7%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.1.2.A	ORM1
HW139	Szelektív hullámforrasztás	2,5%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORM0
HW240	Szelektív hullámforrasztás	2,4%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
X33-08i	Szelektív hullámforrasztás	2%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
L2	Szelektív hullámforrasztás	2%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
P770	Szelektív hullámforrasztás	2,3%	„Tisztítást nem igénylő”/Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORLO
P981	Szelektív hullámforrasztás	2,7%	„Tisztítást nem igénylő” / Alkoholbázisú/ múgyantatartalmú	1.2.3.A	RELO

A plazmatisztítási eljárások az értékelésimodellek szerinti összesítődiagramjai



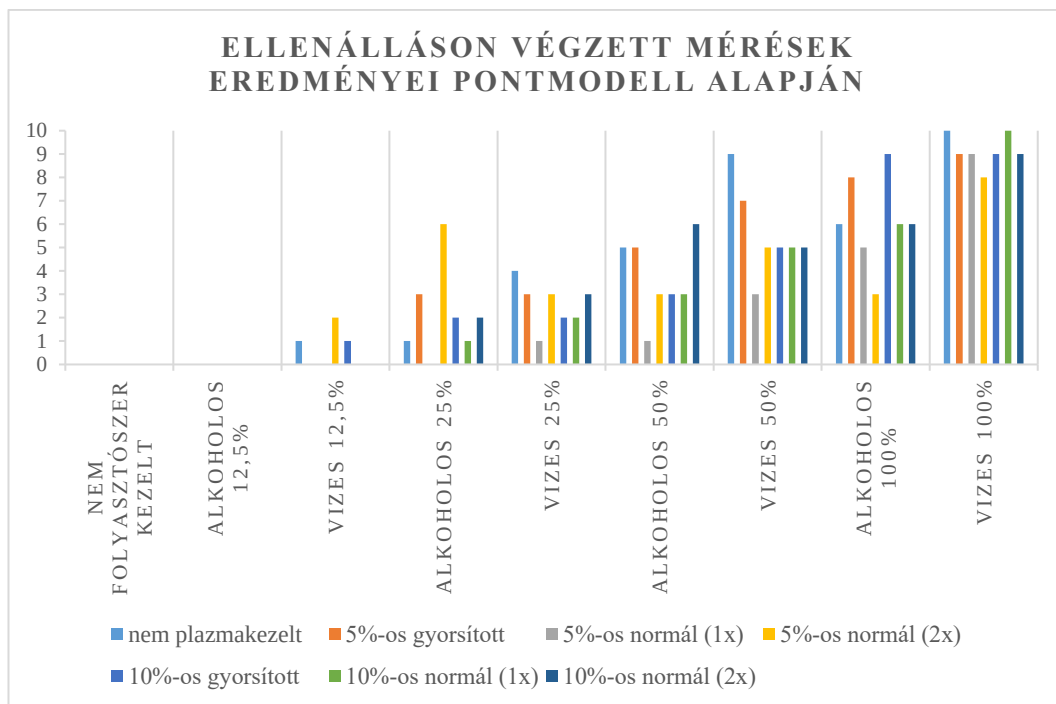
M-1. ábra: Kondenzátoron végzett mérések pontmodell szerinti diagramjai

[saját szerkesztés]



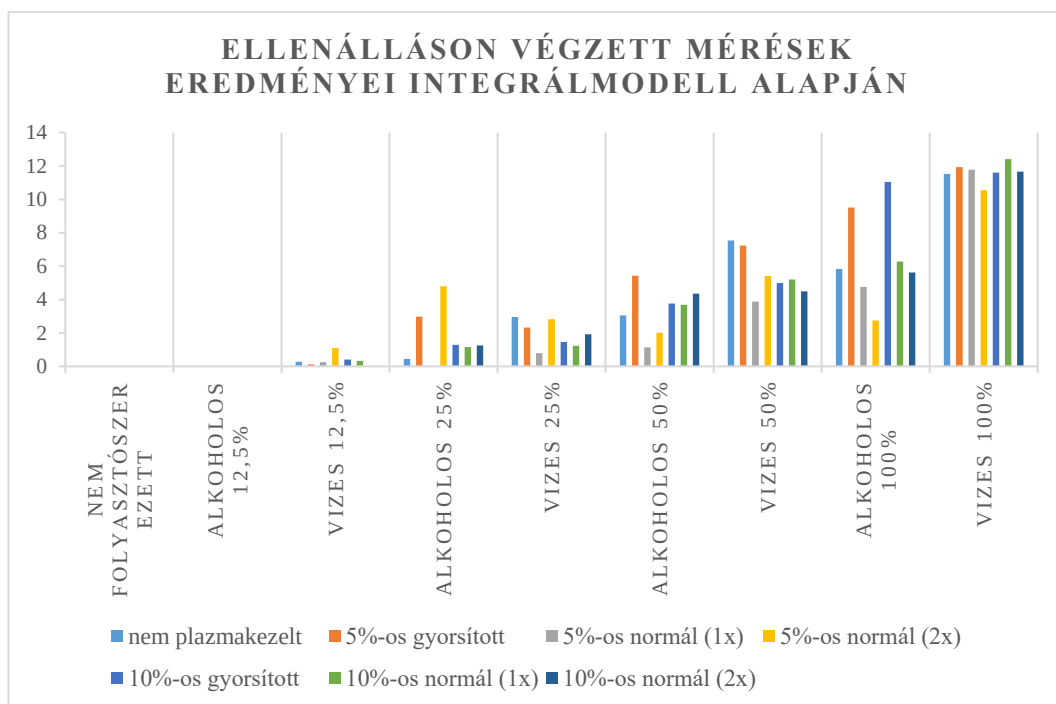
M-2. ábra: Kondenzátoron végzett mérések integrálmodell szerinti diagramjai

[saját szerkesztés]



M-3. ábra: Ellenálláson végzett mérések pontmodell szerinti diagramjai

[saját szerkesztés]



M-4. ábra: Ellenálláson végzett mérések integrálmodell szerinti diagramjai

[saját szerkesztés]

Mellékletek

Plazmakezelés: 33 mm/s-os sebesség mellett elért összesített eredmények

M-6. táblázat: 5%-os gyorsított kezelés hatása alkoholbázisú folyasztsó mellett

[saját szerkesztés]

	Plazmakezelt (5%-os gyorsított)				Kezeletlen
	alkoholos 12,50%	alkoholos 25%	alkoholos 50%	alkoholos 100%	alkoholos 100%
Kondenzátor pontmodell	1	4	9	10	8
Kondenzátor integrálmodell	0,39	1,62	7,93	8,57	5,84
Ellenállás pontmodell	0	3	5	8	6
Ellenállás integrálmodell	0	2,98	5,43	9,52	5,83
Átlag	0,35	2,90	6,84	9,02	6,42

M-7. táblázat: 10%-os gyorsított kezelés hatása alkoholbázisú folyasztsó mellett

[saját szerkesztés]

	Plazmakezelt (10%-os gyorsított)				Kezeletlen
	alkoholos 12,50%	alkoholos 25%	alkoholos 50%	alkoholos 100%	alkoholos 100%
Kondenzátor pontmodell	0	3	10	9	8
Kondenzátor integrálmodell	0	1,54	8,46	8,64	5,84
Ellenállás pontmodell	0	2	3	9	6
Ellenállás integrálmodell	0	1,28	3,77	11,04	5,83
Átlag	0	1,96	6,31	9,42	6,42

M-8. táblázat: 5%-os gyorsított kezelés hatása vízbázisú folyasztsó mellett

[saját szerkesztés]

	Plazmakezelt (5%-os gyorsított)				Kezeletlen
	vizes 12,5%	vizes 25%	vizes 50%	vizes 100%	vizes 100%
Kondenzátor pontmodell	3	5	6	10	10
Kondenzátor integrálmodell	1,91	2,71	4,17	8,87	12,64
Ellenállás pontmodell	0	3	7	9	10
Ellenállás integrálmodell	0,12	2,32	7,24	11,93	11,53
Átlag	1,26	3,26	6,10	9,95	11,04

M-9. táblázat: 10%-os gyorsított kezelés hatása vízbázisú folyasztsó mellett

[saját szerkesztés]

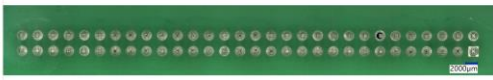
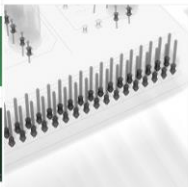
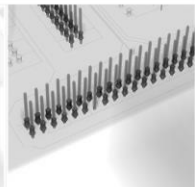
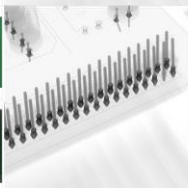
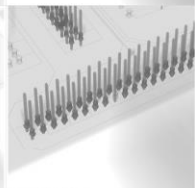
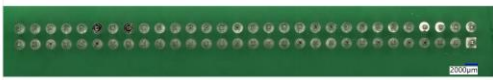
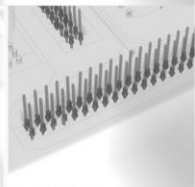
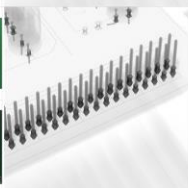
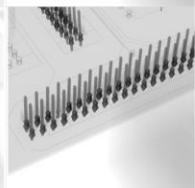
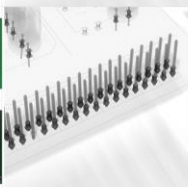
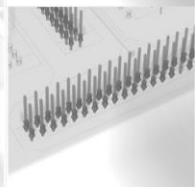
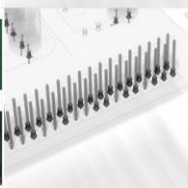
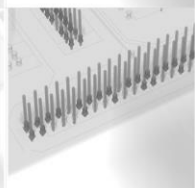
	Plazmakezelt (10%-os gyorsított)				Kezeletlen
	vizes 12,5%	vizes 25%	vizes 50%	vizes 100%	vizes 100%
Kondenzátor pontmodell	1	3	7	10	10
Kondenzátor integrálmodell	0,37	0,88	5,06	11,48	12,64
Ellenállás pontmodell	1	2	5	9	10
Ellenállás integrálmodell	0,40	1,46	4,99	11,60	11,53
Átlag	0,69	1,84	5,51	10,52	11,04

Mellékletek

A forrasztási kísérlet paneljainak képi dokumentációja

M-10. táblázat: J1 csatlakozó képei HASL panelbevonat esetén

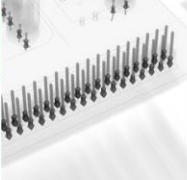
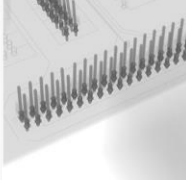
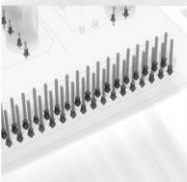
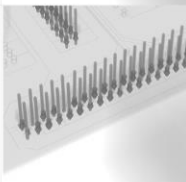
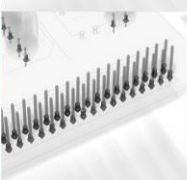
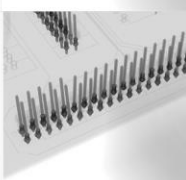
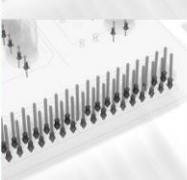
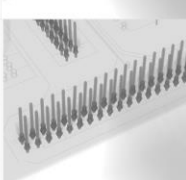
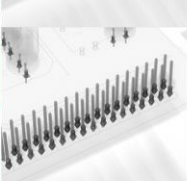
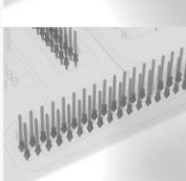
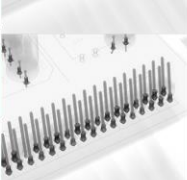
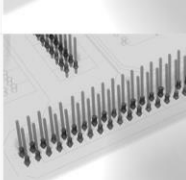
[saját szerkesztés]

							Röntgenkép
100% folyasztószer	Felülnézet						 
	Döntött nézet						
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						 
	Döntött nézet						
plazma 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						 
	Döntött nézet						
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						 
	Döntött nézet						
szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						 
	Döntött nézet						
lézer + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						 
	Döntött nézet						

Mellékletek

M-11. táblázat: J1 csatlakozó képei ImSn panelbevonat esetén

[saját szerkesztés]

						Röntgenkép	
100% folyasztószer	Felülnézet						
	Döntött nézet						
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						
	Döntött nézet						
plazma 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						
	Döntött nézet						
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						
	Döntött nézet						
szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						
	Döntött nézet						
lézer + 12,5% folyasztószer	Felülnézet						
	Döntött nézet						

Mellékletek

M-12. táblázat: A kondenzátorok és ellenállások képei HASL panelbevonat esetén
[saját szerkesztés]

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	R1	R2	R3
100% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
plazma 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
lézer + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									

Mellékletek

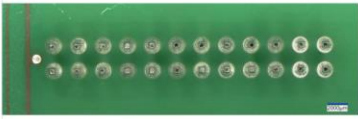
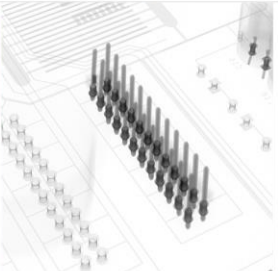
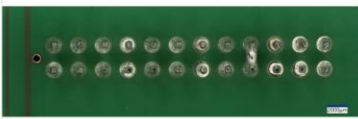
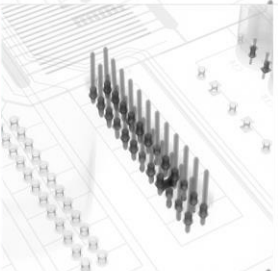
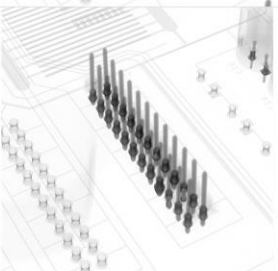
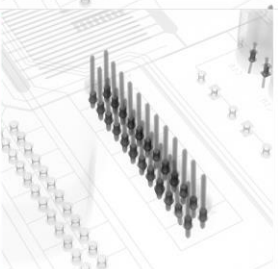
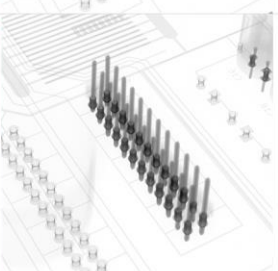
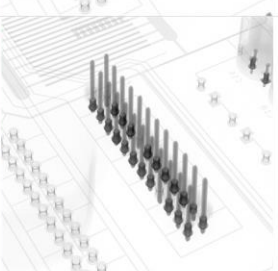
M-13. táblázat: A kondenzátorok és ellenállások képei ImSn panelbevonat esetén
[saját szerkesztés]

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	R1	R2	R3
100% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
plazma 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									
lézer + 12,5% folyasztószer	Felülnézet									
	Döntött nézet									
	Röntgenkép									

Mellékletek

M-14. táblázat: J2 csatlakozó képei HASL panelbevonat esetén – 1

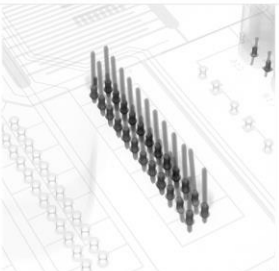
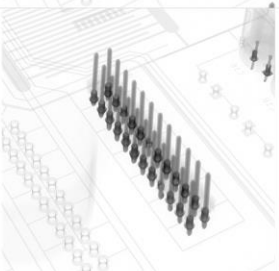
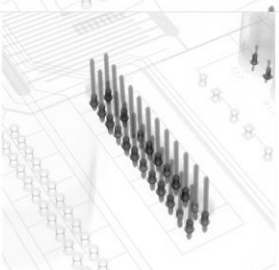
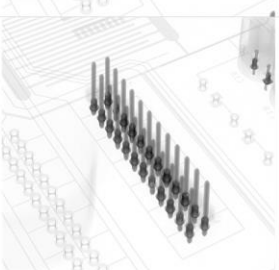
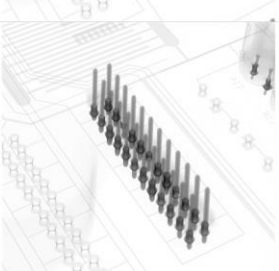
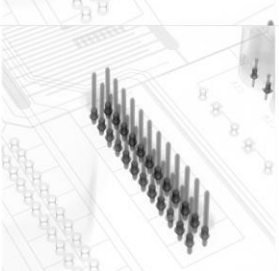
[saját szerkesztés]

			Röntgen
100% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
plazma 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
lézer + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		

Mellékletek

M-15. táblázat: J2 csatlakozó képei ImSn panelbevonat esetén – 1.

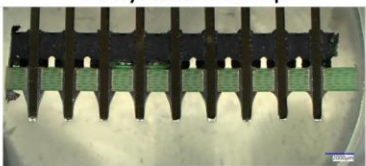
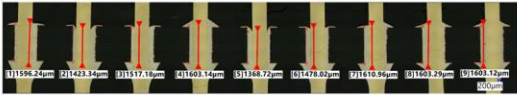
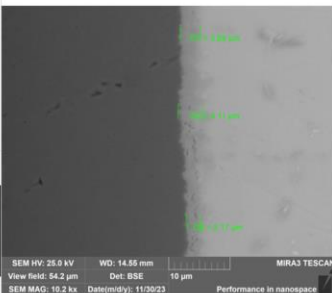
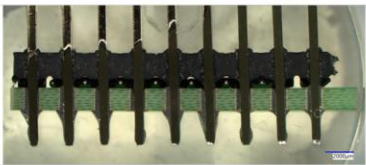
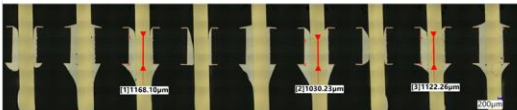
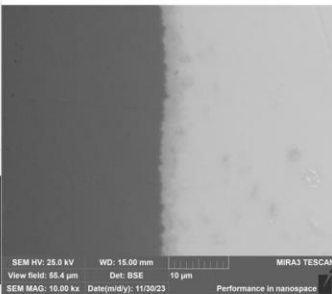
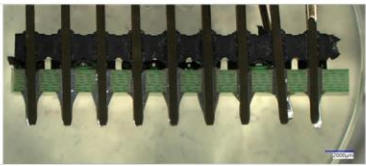
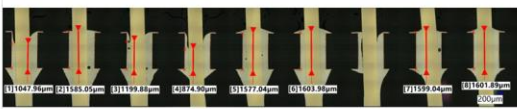
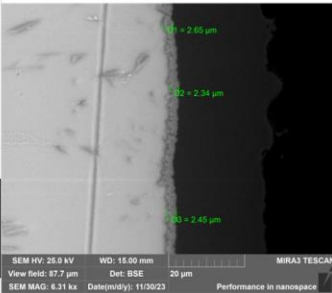
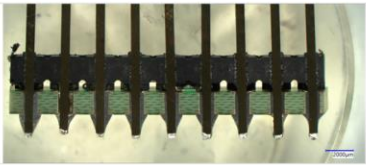
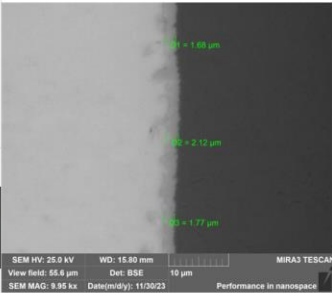
[saját szerkesztés]

			Röntgen
100% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
plazma 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
szárazjég 2 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
lézer + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		

Mellékletek

M-16. táblázat: J2 csatlakozó képei HASL panelbevonat esetén – 2.

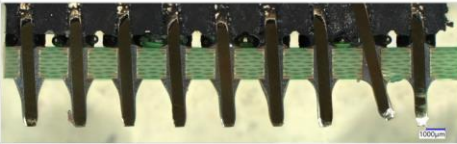
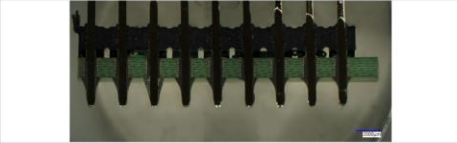
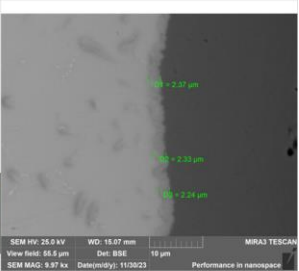
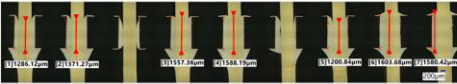
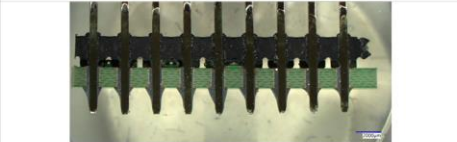
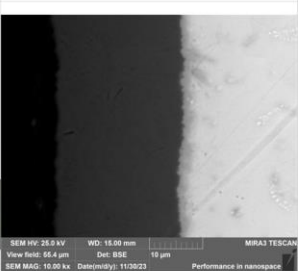
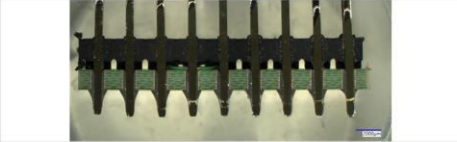
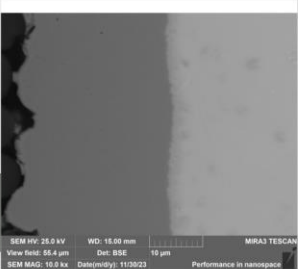
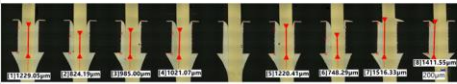
[saját szerkesztés]

	Fénymikroszkóp	SEM mikroszkóp
100% folyasztószer	 	 SEM HV: 25.0 kV WD: 14.55 mm MIRA3 TESCAN View field: 54.2 µm Det: BSE 10 µm SEM MAG: 10.2 kx Date(m/d/y): 11/20/23 Performance in nanospace
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	 	 SEM HV: 25.0 kV WD: 15.00 mm MIRA3 TESCAN View field: 55.4 µm Det: BSE 10 µm SEM MAG: 10.00 kx Date(m/d/y): 11/20/23 Performance in nanospace
szárazjég 1 + 12,5% folyasztószer	 	 SEM HV: 25.0 kV WD: 15.00 mm MIRA3 TESCAN View field: 57.7 µm Det: BSE 20 µm SEM MAG: 6.31 kx Date(m/d/y): 11/20/23 Performance in nanospace
lézer + 12,5% folyasztószer	 	 SEM HV: 25.0 kV WD: 15.80 mm MIRA3 TESCAN View field: 55.6 µm Det: BSE 10 µm SEM MAG: 9.95 kx Date(m/d/y): 11/20/23 Performance in nanospace

Mellékletek

M-17. táblázat: J2 csatlakozó képei ImSn panelbevonat esetén – 2.

[saját szerkesztés]

		Fény mikroszkóp	SEM mikroszkóp
100% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
plazma 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
száraszég 1 + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		
lézer + 12,5% folyasztószer	Felülnézet		
	Döntött nézet		

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék szívből köszönetet mondani mindazoknak, akik segítettek és támogattak engem a szakdolgozatom elkészítésében.

Először is, mély hálámat szeretném kifejezni témavezetőmnek, Dr. Lukács Attilának, akinek segítsége és iránymutatása nélkül nem tudtam volna ilyen eredményesen haladni. Külön köszönet az ipari partner munkatársai közül Dr. Tóth Lászlónak és a hibaelemző labor valamennyi kollégájának, akik megosztották értékes tudásukat velem, illetve, rendelkezésemre bocsátották a dolgozat elkészítéséhez szükséges eszközöket.

Továbbá szeretnék köszönetet mondani a Pannon Egyetem oktatóinak, akik a kutatásomhoz szükséges elméleti alapot adták át, valamint a duális gyakorlati helyemnek, a Pannon Fejlesztési Alapítványnak és duális konzulensemnek, Pekk Leticiának. Az ott eltöltött idő és az ottani tapasztalatok nélkül nem lenne teljes ez a szakdolgozat.

Nem feledkezhetek meg szeretteimről sem, akik hihetetlen támogatást nyújtottak nekem ezen az úton. Köszönet a türelemért, megértésért és örök lelki támaszáért, amit nyújtottak számomra.