



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai kar

Elektronikai Technológia Tanszék

TDK dolgozat

2013/2014 I. félév

**Gőzfázisú Újraömllesztéses Forrasztással Készült Pin-In-Paste Kötések
Vizsgálata IPC Szabvány Szerint**

Készítette: Storcz Richárd (III. évfolyam)

CE7GCS

Konzulensek: Bátorfi Réka

Dr. Ruzinkó Miklós

Budapest

2013

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Furatszerelt alkatrészek forrasztási technológiáinak áttekintése	4
2.1. Hullámforrasztás.....	4
2.1.1. Chip és λ hullám.....	5
2.2. Szelektív hullámforrasztás.....	5
3. Felületi szereléstechológia (lépéseinek) rövid áttekintése	6
3.1. Újraömlesztéses forrasztás	7
3.1.1. Forraszpasztá	7
3.2. Stencilnyomtatás	8
3.3. Alkatrészek beültetése.....	9
4. Pin-In-Paste technológia	10
4.1. Diszpenzálás	12
4.2. Újraömlesztéses forrasztás módszerei	13
5. Mérések előkészítése	15
5.1. Optikai mikroszkópos vizsgálat.....	15
5.2. Furatátmérők meghatározása.....	17
5.3. A forraszpasztá mennyiségének meghatározása.....	18
6. Kísérletek megtervezése és előkészítése	19
6.1. Stencil apertúrák megtervezése	19
6.2. Stencil elkészítése és vizsgálata	22
6.3. Alkalmazott forraszpaszták.....	25
7. Kísérletek elvégzése	26
7.1. HS01..03 és HS11..13.....	27
7.1.1. Stencilnyomtatás.....	27
7.1.2. Röntgen mikroszkópos vizsgálat és beültetés	29
7.1.3. Megömlesztési folyamat.....	31
7.2. NS01..03 és NS11..13.....	33
7.3. HT01..03 és HT11..13	36
7.4. NT01..03 és NT11..13	39
7.5. Keresztmetszeti csiszolatok.....	42
7.6. Diszpenzálási kísérlet.....	43
8. Mérési eredmények kiértékelése	43
8.1. Meniszkusz alakja	43
8.2. Nedvesítési szög körben	44

8.3. Furatkitöltés	45
8.4. Forraszgolyók	46
8.5. Minőségvizsgálat és értékelés	47
9. Mérési eredmények összegzése	48
10. Összefoglalás	48
Irodalomjegyzék.....	50
Ábrajegyzék.....	52

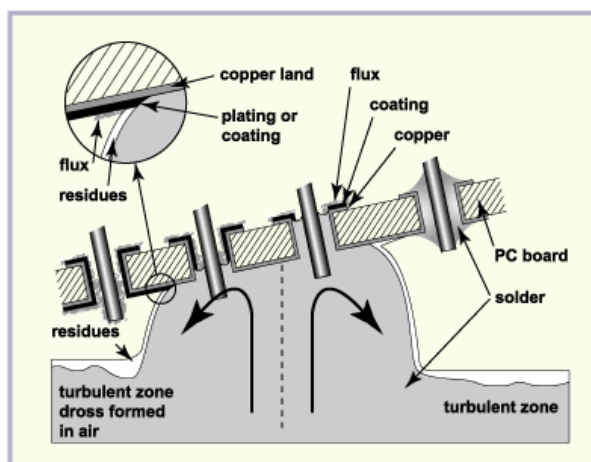
1. Bevezetés

Napjainkban a technikai vívmányok gyors ütemű fejlődése miatt szükségessé vált a minél gyorsabb, pontosabb és megbízhatóbb nyomtatott áramkörök gyártása. Ez természetesen azzal járt, hogy az alkatrészeket (pl.: ellenállás, kondenzátor, tekercs) a lehető legkönnyebben, leggyorsabban és legpontosabban lehessen beültetni. Ez volt a hajtóereje a felületi szereléstechológia (Surface Mount Technology, SMT) kifejlesztésének. Ennél a technológiánál a nyomtatott huzalozású lemezre egy vékony forraszpasztta réteget visznek fel, s ebbe a paszta rétegbe ültetik be az alkatrészeket. Utána forrasztókemencében újraömlesztéses forrasztással létrejön a fémes kötés az alkatrészek kivezetései és a nyomtatott áramköri lemez kontaktusfelületei között. Azonban, hiába a felületszerelési technológia a legelterjedtebb, vannak olyan alkatrészek melyek a mai napig megkövetelik a furatszerelési technológiával történő beültetést. Ilyenek például a különböző csatlakozó aljzatok illetve tűskesorok. Ezen alkatrészek alkalmazásánál követelmény, hogy nagyobb erőhatás esetén is stabilan a helyén maradjon (pl.: a majdani felhasználás során többször és/vagy nagyobb erővel használják a csatlakozót). Habár már számos csatlakozó aljzat elektromos kivezetéseit (pl.: HDMI, USB) felületszerelési eljárással csatlakoztatják a nyomtatott áramkörhöz, addig az aljzatot furatszerelten rögzítik a nyomtatott lemezhez, így az stabilabb lesz. Az így készült forrasztott kötések minőségbiztosításáért az IPC szabvány felel. A szabványban foglalt kritériumok szerint több osztályba sorolhatjuk az elkészült áramköri lemezeket, amelyek így a további fejlesztések alapjául szolgálhatnak. Ezáltal ki lehet szűrni a nem megfelelő minőségű alapanyagokat, alkatrészeket. Ez biztosítja, hogy a napjainkban készülő elektronikai termékek a lehető legmegbízhatóbbak legyenek.

2. Furatszerelt alkatrészek forrasztási technológiáinak áttekintése

2.1. Hullámforrasztás

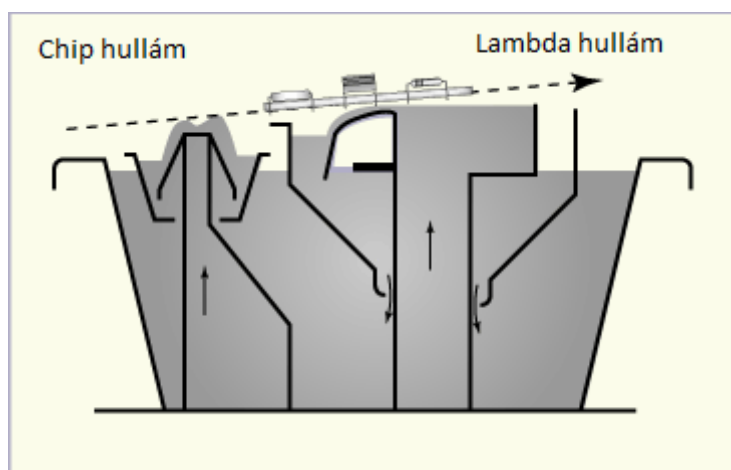
A furatszerelt alkatrészek automatizált forrasztásának több módszere is ismert. Ezek közül az egyik a hullámforrasztási technológia. Hullámforrasztás során a megolvasztott forrasztóanyagból pumpa segítségével egy hosszú forrasztóhullámot képeznek, melyen úgy vezetnek át a forrasztandó beültetett áramkört, hogy a forrasztási oldal belemerül a forrasztóhullamba (1. ábra). Ennek a technológiának a lényege, hogy a nyomtatott huzalozású hordozóra stencilnyomtatással vagy cseppadagolással alkatrész ragasztóanyagot (SMD ragasztót) visznek fel a felületszerelhető alkatrészek teste alá. Ezután beültetik mind a furatszerelt, mind a felületszerelt alkatrészeket. Ezt követően kemencében kikeményítik az SMD ragasztót (125-150C°-on 3,5 – 1,5 percig [1]), mely rögzíti a felületszerelt alkatrészeket a forrasztás során. A hullámforrasztás esetén alkatrész- és forrasztási oldalt különböztetünk meg. Az alkatrészoldalon a furatszerelt alkatrészek találhatók; a felületszerelt alkatrészek a forrasztási oldalra kerülnek. Az így előkészített beültetett áramkörre folyasztószerrel visznek fel, szórással vagy folyasztószerhullámon való átvezetéssel. Ezután az áramkört átvezetik a forrasztóhullámon. Az olvadt forrasztó nedvesíti a fémfelületeket, az alkatrészvezetőket és a kontaktusfelületeket, létrehozva így a forrasztott kötések. Jóllehet ez a technológia is pontos és megbízható, ám az infrastruktúra fenntartása igen költséges. Mindig elegendő mennyiségű (több tíz kg [2]) forrasztóanyagot kell a gépben lennie, s ezt folyamatosan 40-50 fokkal az ötvözet olvadáspontja felett kell tartani ahhoz, hogy dolgozni lehessen vele. Ez nagyon megnöveli az energiafelhasználást. Emellett a fellépő magas hőmérséklet miatt védőgázt is kell alkalmazni az oxidálódás és a salakanyag képződésének elkerülése érdekében [2][3], ezért a gép üzemeltetéséhez nagy mennyiségű nitrogén szükséges. Kisüzemű gyártásnál ez egyáltalán nem hatékony. Így ezt a technológiát főleg nagyüzemű gyártásnál alkalmazzák.



1. ábra. Hullámforrasztás elve. [1]

2.1.1. Chip és λ hullám

A hullámforrasztási technológiának több módszere is létezik annak érdekében, hogy a beültetett panelra a megfelelő mennyiségű forrasz anyagot vigyék fel. Ennek egyik lehetséges megoldása a chip- és λ hullám kettőse, mely a 2. ábrán látható. Ennek lényege, hogy a nyomtatott áramköri lemez először a chip hullám felett halad át [4]. Ez a hullám egy turbulens, gyors áramlási sebességű hullám, mely biztosítja a kontaktusfelületekre a szükséges forrasz mennyiséget. Ezután a panel a λ hullám felett halad el. Ez a hullám egy lamináris, lassú áramlási sebességű hullám, mely eltávolítja a forrasztöbbletet és megszünteti az esetleges zárlatokat.

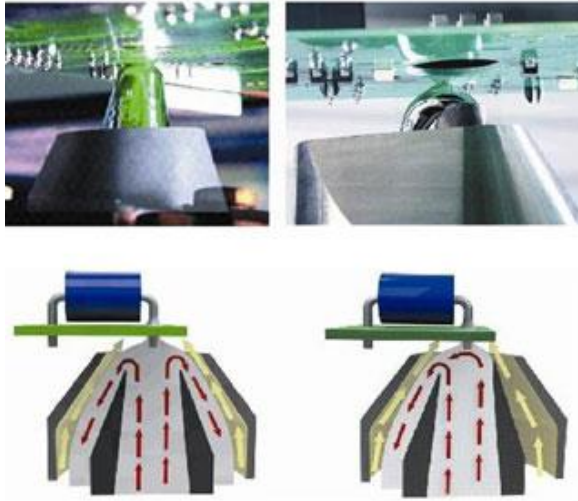


2. ábra. Chip és λ hullám [2]

Ennek a technológiának az egyik szelektív változata – mely esetén nem az összes alkatrészt forrasztjuk ezzel a technológiával – a bélyegforrasztásos technológia.

2.2. Szelektív hullámforrasztás

Egy másik szelektív furatszerelt forrasztásra alkalmazott technológia a szelektív hullámforrasztási technológia. Ezzel a technológiával a felületszerelt alkatrészek újraömlesztéses forrasztása után a kisszámú, kevés kivezetéssel rendelkező furatszerelt alkatrészek forrasztását végzik. A szelektív hullámforrasztásnál a kötéseket úgy hozzák létre, hogy egy kis forraszsugár vagy –szökőkút (a minihullám) segítségével juttatják a megfelelő mennyiségű forraszanyagot a furatba, melyet a 3. ábra mutat.



3. ábra. Szelektív hullámforrasztás elve. [3]

Folyasztószer felvitele után az olvadt forraszfémet egy fúvókán keresztül megfelelő magasságra pumpálják, egy kis forrasz-szökőkutat létrehozva. Ezt a kis hullámot a furatszerelt alkatrészek kivezetőihöz érintik, a forrasz nedvesíti az alkatrészkivezetőt és a kapilláris erő hatására felfut a fémezett falú furatba. Hátrányként itt is a nitrogénigényt, a forrasz melegítésének és hőntartásának fűtésigényét említhetem, valamint azt a tényt, hogy eleve egy lépéssel, egy folyamattal többet szükséges használni az újraömlesztéses forrasztás után.

3. A felületi szereléstechológia (lépéseinek) rövid áttekintése

A felületi szereléstechológia (Surface Mount Technology, SMT) lényege, hogy az alkatrészek jelentős részét a nyomtatott huzalozású hordozó felületén rögzítjük, és nem pedig furatok segítségével. Ennek az eljárásnak, mint már a bevezetőben is említettem, kétféle elterjedt technológiája van. Az egyik megvalósítási technológia a hullámforrasztás, míg a másik az újraömlesztéses forrasztás. A dolgozatban csak az újraömlesztéses forrasztást tárgyalom részletesen. Ennek lépései:

1. A forraszpaszta felvitele a megfelelő kontaktus felületekre.
2. A pasztafelvitel minőségének ellenőrzése.
3. Az adott panelhez tartozó alkatrészek beültetése.
4. A beültetés pontosságának ellenőrzése.
5. A beültetett panel forrasztása.
6. A beforsasztott panel ellenőrzése.

Az egyes lépéseket a következő fejezetekben részletesebben tárgyalom.

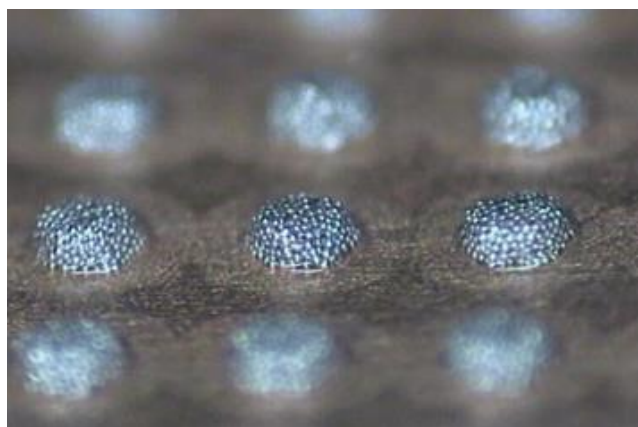
3.1. Újraömllesztéses forrasztás

Az újraömllesztéses forrasztással készülő felületszerelt áramkörök napjainkban talán a legelterjedtebbek. Ennek a technológiának a lényeges eltérése a szelektív hullámforrasztási technológiával szemben, hogy míg az újraömllesztéses forrasztásnál a forrasz anyagot paszta formájában visszük fel a kontaktus felületre és újraömllesztő kemence segítségével hozzák létre a kötést, addig a szelektív hullámforrasztásnál először ragasztó segítségével rögzíteni kell az SMD alkatrészt, majd ezután olvadt forrasz segítségével hozzák létre a kötést.

3.1.1. Forraszpaszta

Az újraömllesztéses technológiánál a forraszanyagot paszta formájában visszük fel azon kontaktus felületekre, ahol a forrasztott kötésekét kívánjuk létrehozni. Ilyen forraszpaszta látható a 4. ábrán. A forraszpasztában a forraszfém kis gömbök formájában található, melyek átmérője típustól függően 5 μm -tól egészen 45 μm -ig terjed [5]. Emellett a gömbök átmérőjének mérettartománya és méreteloszlása minden típusban más és más. A legfinomabb típusú pasztáknál a méretek szórása igen kicsi; az egyes átmérők közötti eltérés mindössze pár μm , míg vannak olyan paszták is, melyeknél ez több tíz μm is lehet. A forraszpaszta a forraszfém gömbök és folyasztószer szuszpenziója. A folyasztószer feladatai a [6]-os irodalom alapján:

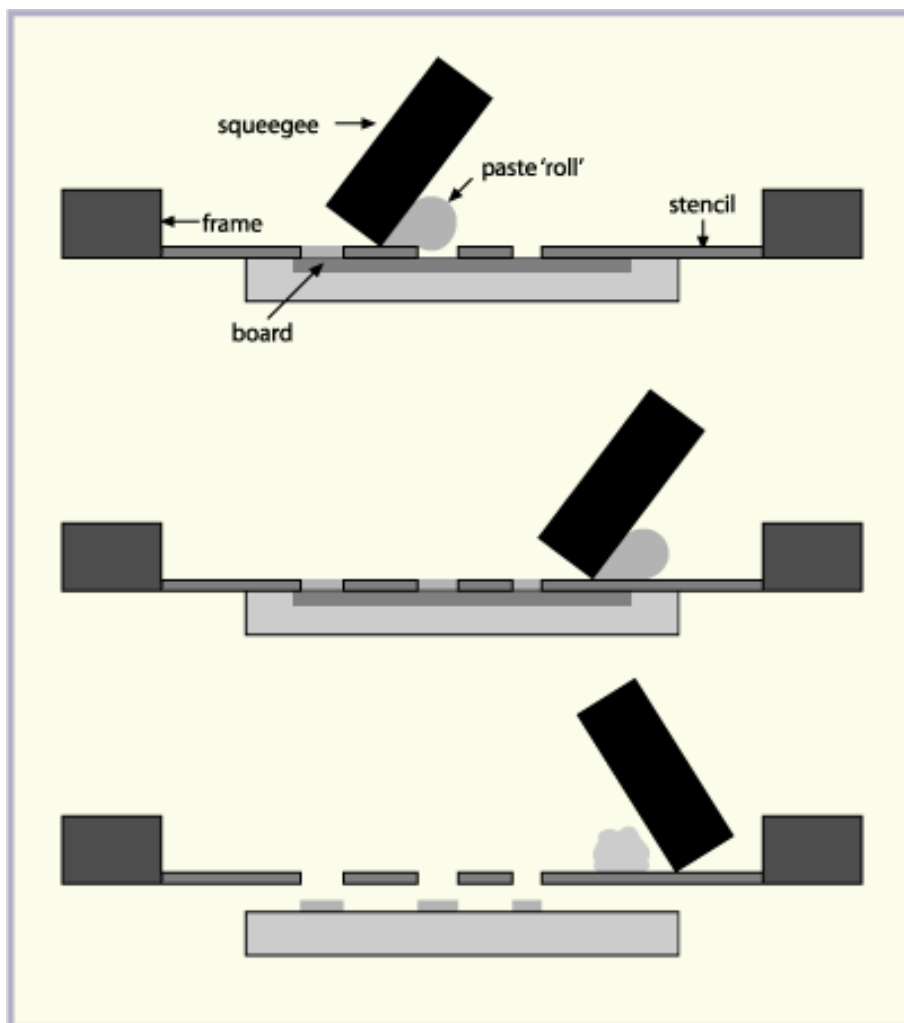
- A fémek felületén található, oxidokból, szulfidokból illetve egyéb szennyeződésből álló réteg eltávolítása.
- A hőátadás javítása.
- Nedvesítés elősegítése a jobb felfutás érdekében.



4. ábra. Forraszpaszta [4]

3.2. Stencilnyomtatás

A paszta felvitele több módon is megtörténhet, az egyik ilyen technológia a stencilnyomtatás, melynek elve az 5. ábrán látható. Ilyenkor az adott nyomtatott áramköri lemez terve alapján egy stencilt készítenek, mely egy vékony, 75-200 μm vastag fémfólia [7][8]. A stencilen a nyomtatott áramköri hordozón található kontaktusfelületeknek (pad-eknek) megfelelően nyílásokat, ún. apertúrákat alakítanak ki. A stencilnyomtató berendezésbe helyezett panelre a forraszpasztát nyomtatókések nyomják át az apertúrákon a kontaktusfelületekre. A nyomtatási sebesség átlagos értéke 1,27cm/másodperc és 5,08 cm/másodperc között van [7]. Ultra-fine-pitch alkatrészeknél ez az érték 1,27 cm/másodperc és 2,54 cm/másodperc között van. A kések átlagos dőlésszöge 45° és 60° közötti. A megfelelő mennyiségű forraszpaszta felvitelét az apertúrák mechanikai méretének és a stencilfólia vastagságának megfelelő megválasztásával érik el.



5. ábra. Stencil nyomtatás elvi rajza [5]

3.3. Alkatrészek beültetés

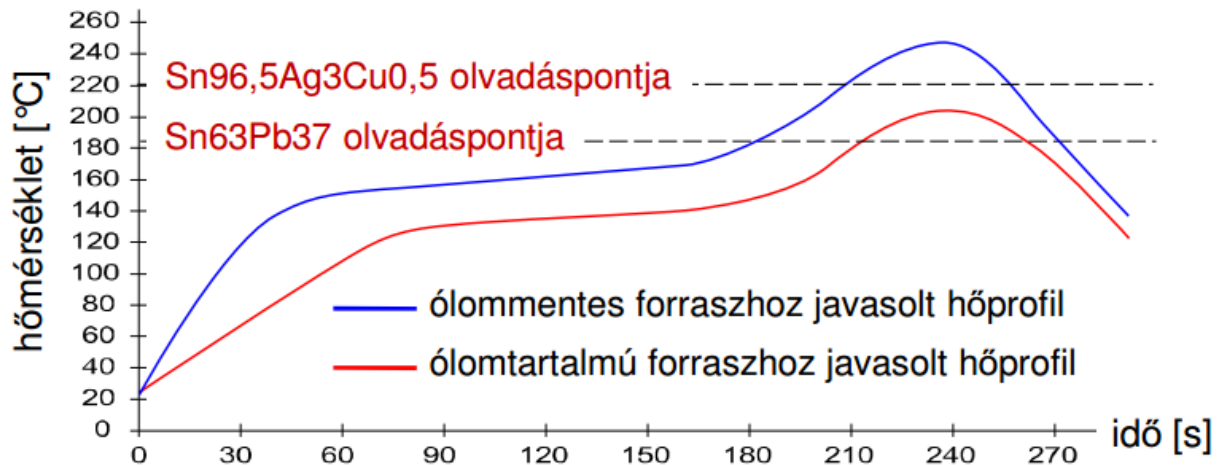
A már felpasztázott áramközi lemezekre az alkatrészeket beültető gép segítségével ültetik be. A tanszékünkön található beültetőgépet a 6. ábra mutatja. Ezek a gépek vákuumpipettás technológiával működnek. Ez azt jelenti, hogy az alkatrészeket a tárolójukból, az adott alkatrész típushoz és mérethez készített pipetta fej vákuum segítségével veszi fel. Ezután lézeres és/vagy optikai technológiával megvizsgálja, hogy pontosan milyen orientációval és elfordulási szöggel vette fel az alkatrészt, illetve hogy annak fizikai paraméterei megegyeznek-e az adatbázisában tárolt adatokkal. Ha az adatok megegyeznek, akkor a beültető programban megadott koordinátájú ponton helyezi el, az alkatrésznek megfelelő módosított forgatási szöggel. Ezzel az ellenőrzési rendszerrel ki tudja szűrni a hibás, sérült vagy éppen nem megfelelő alkatrészeket, hogy azok ne kerülhessenek beültetésre. A nagy pontosságú beültetést az áramköri tervek alapján meghatározott koordinátákon kívül még a gyártás előkészítés során történő, szakember általi ellenőrzés is garantálja. A beültetési folyamat igen nagy sebességet is képes elérni, mivel a beültető gép nem egy, hanem minimum kettő vagy több beültető fejet használ egyszerre. Ezzel a technikával óránként akár több tízezer alkatrészt is nagy pontossággal be lehet ültetni [9].



6. ábra. A TWS cég Quadra beültető gépe [6]

A beültetett panelek automatikus optikai és/vagy röntgenes ellenőrzés után kemencébe kerülnek, ahol megömlik a forraszpasztát és létrejön a fémes kötés. A paszta megömlését több módon is el lehet érni. Ezek közé tartozik az infrasugaras-, konvekciós- (ezeknek gyakran a kombinációit alkalmazzák a kemencék) vagy a gőzfázisú kemence. A kemence hőmérsékletét az alkalmazott forrasztótvözet és az áramköri elemek hő tűrése alapján felállított hőprofil segítségével határozzák meg.

A hőprofil a paszta adatlapja szerint, az alkatrészek hőtűrésének figyelembe vételével kell meghatározni, hőprofil beállításakor a hőmérsékleti értékeket a forrasztási folyamat teljes ideje alatt a panel több pontján mérik. A forrasztási hőprofil előmelegítési-, hőtartós hőprofil esetén hőtartási-, gyors felfűtési-, megömlesztési- és lehűtési szakaszokból áll. A hűtési folyamat befejeztével az elkészült paneleket ellenőrzik, hogy minden kötés tökéletesen létrejött-e. Ilyen hőprofil látható a 7. ábrán.



7. ábra. Újraömlesztéses forrasztás hőprofil [7]

4. A Pin-In-Paste technológia

Dolgozatom fő témája a felületi szereléstechológiába illeszthető Pin-In-Paste technológia (PIP, magyarul úgy fordíthatjuk, hogy „alkatrész a pasztában”). A szakirodalomban más elnevezései is ismertek: intrusion soldering („benyomulós” forrasztás), pin-in-hole reflow (alkatrészláb a furatban újraömlesztéssel).

Az általam vizsgált technológia során a megfelelő mennyiségű forraszpaszta felvitelét követően a furatszerelt alkatrészt beültetik, majd ezután következik az újraömlesztéses forrasztás. Mindkét lépés a felületszerelt alkatrészek technológiájával megegyezik, azokkal egy lépésben történik. Mikor azonban egy furat szerelt alkatrészt kell beültetni, ott nemcsak a pad-re kell a megfelelő mennyiségű pasztát felvinni, hanem gondoskodni kell arról, hogy magába a furatba is elegendő mennyiségű paszta kerüljön. A forrasztás után az optimális furatkitöltés és a mindkét oldali meniszkusz létrejöttéhez megfelelő mennyiségű forrasz szükséges. Ezt mind a stencil megtervezésénél, mind pedig a nyomtatási folyamat során figyelembe kell venni. A stenciltervezés során a megfelelő paszta adag kiszámítására a következő képleteket lehet alkalmazni az [10]-es irodalom alapján:

$$V_{SJ} = V_h + V_f - V_p \quad (1)$$

ahol V_{SJ} : A furatszerelt forraszkötéshez szükséges teljes forraszmennyiség térfogata

V_h : a furat térfogata

V_f : a meniszkuszok térfogata

V_p : az alkatrész kivezető (pin) térfogata.

$$V_{SP} = \frac{V_{SJ}}{F} \quad (2)$$

ahol V_{SP} : a nyomtatási folyamat során felvivendő forraszpasztta mennyiség (SP, mint Solder Paste)

F: a forraszanyag zsugorodási faktora, általában 0,45...0,55.

A zsugorodási faktor a paszta állapotban lévő és a megömlött vagy a forrasztás után már megszilárdult forraszanyag százalékos aránya. Ez abból adódik, hogy a forraszfém a forraszpasztta gömbök formájában tartalmazza, s a köztük lévő teret a folyasztószer tölti ki. Így mikor az újraömllesztési folyamat során a folyasztószer elpárolog annak egykori helyét is a már megömlött forraszfém tölti ki.

Ezt, a stencilen vágott apertúrák alakjától függően többféleképpen is kiszámíthatjuk:

$$V_{SP} = \pi \cdot r^2 \cdot t \quad (3)$$

ahol V_{SP} : a nyomtatási folyamat során felvivendő pasztamennyiség kör alakú apertúra esetében

r: az apertúra sugara

t: a stencil vastagsága, 25 μ m-től 300 μ m-ig terjed.

$$V_{SP} = l \cdot w \cdot t \quad (4)$$

ahol V_{SP} : a nyomtatási folyamat során felvivendő pasztamennyiség szögletes apertúra esetében

l: az apertúra hossza

w: az apertúra szélessége

t: a stencil vastagsága, 25 μ m-től 300 μ m-ig terjed.

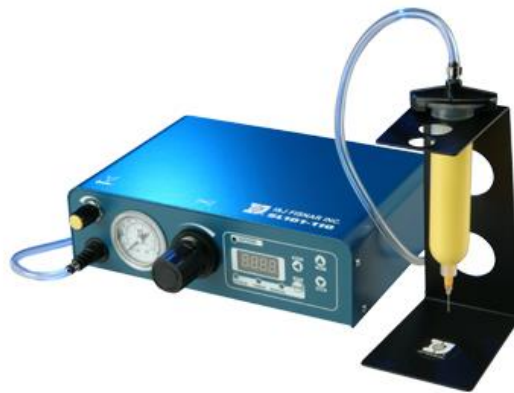
Olykor túlnyomtatásra is szükség van, a megfelelő mennyiségű pasztafelvitel eléréséhez. Ez azt jelenti, hogy a stencilbe vágott apertúra esetenként jóval nagyobb, mint a furat pad-je. Ilyen esetekben a nyomtatott huzalozású hordozó felületén található forrasztásgátló lakk biztosítja, hogy a megömlött forraszanyag kizárólag a kontaktusfelületet nedvesítve a fémezett falú furatba kerüljön. A túlnyomtatás mellett még a lépcsős- és a két stencillel való nyomtatással is biztosítani lehet, hogy a

megfelelő mennyiségű paszta kerüljön felvitelre. Ezeknek, akárcsak a túlnyomtatásos technikának, fontos és szigorú előírásoknak kell megfelelniük, hogy az újraömlés után kialakuló fémes kötés megfelelő legyen. Ezt szabja meg az IPC-7525 szabvány [11].

Ahhoz azonban, hogy a forrasztási folyamat során a megömlesztett forrasz teljesen kitöltse a furat fala és az alkatrész kivezetése közötti részt, a furat megtervezésénél a furat átmérőjét az alkatrész kivezetésének átmérőjéhez kell igazítani. Ennek elérése érdekében a [12]-es irodalom azt ajánlja, hogy a furat fala és a behelyezett alkatrész láb közötti távolság $0,254 \text{ mm}$ ($=0,010''$) legyen szögletes alakú kivezetéssel rendelkező alkatrészek esetén (pl.: Integrált áramkörök); valamint $0,3048 \text{ mm}$ ($= 0,012''$) legyen hengeres kivezetésű alkatrészek esetén (pl.: IC foglalatok, kvarc kristályok). Ha ezen peremfeltételek teljesülnek, akkor ideális furatkitöltést kapunk.

4.1. Diszpenzálás

Egy másik pasztafelviteli mód a diszpenzálás, más néven cseppadagolás. Ilyenkor a pasztát „fecskendő” segítségével visszük fel a kontaktus felületekre. Ilyen kézi diszpenzáló látható a 8. ábrán.



8. ábra. A Fisnar cég FIS SL101 Digitális Diszpenzáló készüléke [8]

A folyamat ebben az esetben is az adott nyomtatott huzalozású áramköri rajzolóhoz illeszkedik. A meglévő tervek alapján a diszpenzáló gép (automata vagy kézi [13]) általában sűrített levegő segítségével (de lehet csavarorsós adagolással is) egy műanyag fecskendőből, különböző méretű és formájú tű segítségével a megfelelő mennyiségű pasztát nyomja a felületre [14]. Ebben az esetben a pad-ekre felvitt paszta csúcsos lesz. Ez azonos vagy kisebb alapterületen nagyobb forraszmennyiség lehelyezését biztosítja. A további folyamatok során, mint például a beültetési folyamat, ez semmiféle

akadályt vagy hátrányt nem jelent. Viszont ugyan úgy, mint a stencilnyomtatásnál, úgy itt is biztosítani kell a megfelelő mennyiségű paszta felvitelét, ami ennél a folyamatnál már nem a legegyszerűbb.

Mivel a diszpenzálásnál a pasztát olykor igen vékony tű segítségével visszük fel a kontaktus felületre és furatokba, így a pasztának jóval hígabbnak kell lennie, mint a stencilnyomtatásnál használt pasztáknak. A többlet folyasztószer miatt a zsugorodási faktor is nagyobb, mint ami a stencilnyomtatás esetén használatos pasztáknál érvényes. Ez azt jelenti, hogy több pasztát kell felvinni annak érdekében, hogy a megömlött forrasztóanyag térfogata megegyezzen a stencilnyomtatási folyamat során felvitt és megömlött forrasztóanyag térfogatával. A paszta zsugorodási faktorának ismeretében ez a térfogat könnyedén meghatározható, viszont a meghatározott mennyiség felvitele már jóval nehezebb. Ennek több oka is van. Pneumatikus diszpenzáló esetén, még ha ismert a levegő nyomása, a diszpenzálási idő és az alkalmazott tű keresztmetszete, s ezen adatok ismeretében meghatározható volna a paszta mennyisége, ezen adatok nem feltétlenül állandóak. Ha a levegőt közvetítő csőrendszer valahol egy kicsit is hibás, vagy az időzítő egy kicsit előbb kikapcsolja a kompresszort, a kinyomott paszta mennyisége már is nem lesz állandó. Emellett, ha nincs a tű folyamatos használatban, az egy idő után elkezd beszáradni, s a keresztmetszete csökken, ami ismételt kevesebb pasztát eredményez. Ezekon kívül az alkalmazott paszta minőségétől is függ, hogy mennyit tudunk a kontaktus felületre juttatni.

Előnye ennek a technológiának a stencilnyomtatással szemben, hogy a sűrített levegős túvel történő adagolás miatt a paszta a furatba mélyebbre juttatható, ami könnyíti a megfelelő forrasztóanyag mennyiség felvitelét, s elősegíti a még jobb furatkitöltést.

4.2. Az újraömlésztéses forrasztás módszerei

Ahhoz, hogy a pad és az alkatrész kivezetése között létrejöjjön a kapcsolat (forrasztott kötés), a pasztát fel kell melegíteni olyan hőmérsékletűre, mikor már megömlik és felfut a kontaktusfelületekre. Ennél a folyamatnál az alkatrészekkel szemben támasztott követelmény, hogy kibírja a (SAC305 forrasztóanyag esetén) 250C°-os megömlésztési hőmérsékletet 30 másodpercig [7].

A megömlésztési folyamat minden eljárásnál hőközléssel történik, azonban a hőközlés módja különbözik. Míg a lézeres eljárásnál a lézernyalábot közvetlenül a kontaktus felületekre – forrasztópasztára – alkatrész lábra fókuszáljuk, így csak azokat melegítjük, addig a többinél az egész áramköri lemezt felmelegítjük, nemcsak azokat a pontokat, hol a fémes kötését kívánjuk létrehozni. A lézeres eljárás hátránya a többivel szemben általában a nagy időigény és a forrasztandó felületek optikai tulajdonságai miatt nem mindig megfelelő hővezetés. Az infrakemencés eljárás hátrány a rossz

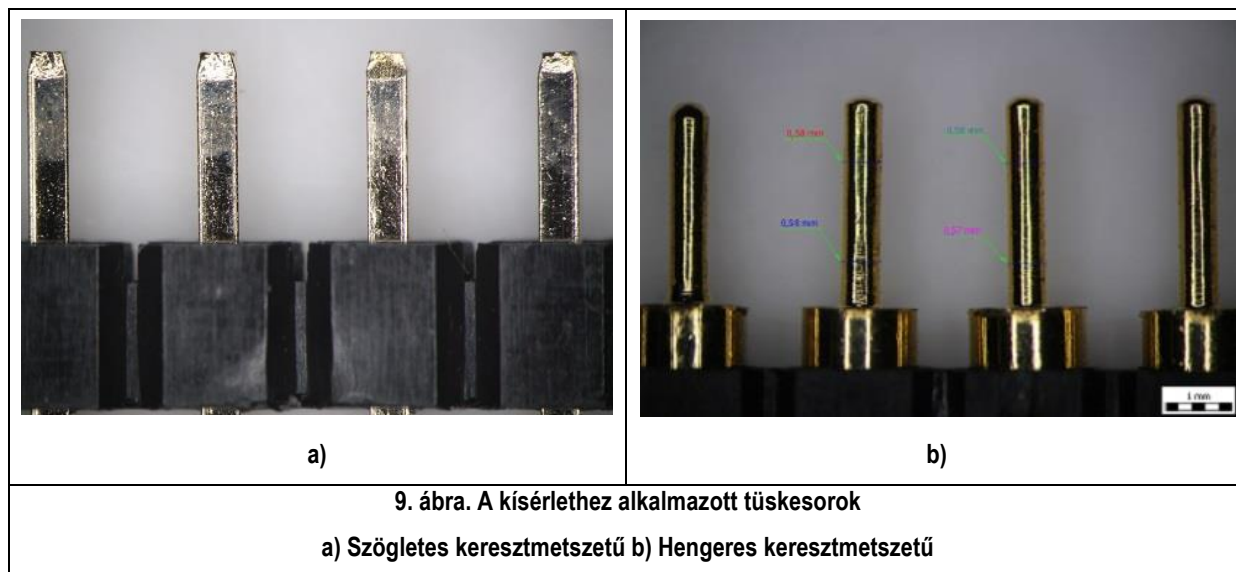
hővezetés és egyenetlen hőmérséklet eloszlás. A konvekciós-infrás kemence hátránya a rossz hővezetés miatt, valamint a kitakarás, árnyékolás miatt fellépő egyenetlenebb panelfűtés. A konvekciós-infrás illetve gőzfázisú kemencével végzett forrasztási folyamat során az egész áramköri panel felmelegszik a megömléstartási hőmérsékletre és a fölé. Így furatszerelt alkatrészeknél lehetőség van a panel mindkét oldaláról egyenletesen melegíteni a kontaktusfelületet – alkatrész kivezetést – forrasztást. Ezen felül a gőzfázisú kemence nagy előnye a konvekciós kemencével szemben, hogy míg az utóbbin a maximális melegítési hőmérsékletet a panelen mérhető kívánt hőprofilnak megfelelően kell beállítani, addig a gőzfázisú kemencénél ez az érték fix. Az IPC szabvány szerint az újraömléstartási forrasztásnál a panelen mért maximális hőmérséklet 235 °C lehet [16]. A gőzfázisú forrasztás során a közvetítő közeg egy inert folyadék (Galden [15]) gőze, melynek a kereskedelemben különböző forráspontú változatai kaphatók. A folyadékot mindig az alkalmazott forrasztótvözetnek megfelelően kell kiválasztani. A gőzfázisú forrasztás elve, hogy a beültetett áramkört belemerítjük a gőzbe, és az lecsapódik rá, így adja át a látens hőjét, ezzel melegítve fel a szerelvényt a forráspont hőmérsékletéig. A panel hőmérséklete a gőzfázisú forrasztás során soha nem tudja meghaladni a gőz forráspontjának hőmérsékletét. Így a megömléstartási hőmérséklet felett vagyunk, azonban az alkatrészek túrését sem lépjük túl. Ezen felül, habár az egész panelt felmelegítjük, azonban ezt előre meghatározott hőprofilal teszik.

5. Mérések előkészítése

A kísérleti mérések során kétféle panelt, kétféle tükkesort, háromféle forraszpasztát, kétféle forraszanyag felviteli technikát és egyféle furatbevonati ötvözetet használtam.

5.1. Optikai mikroszkópos vizsgálat

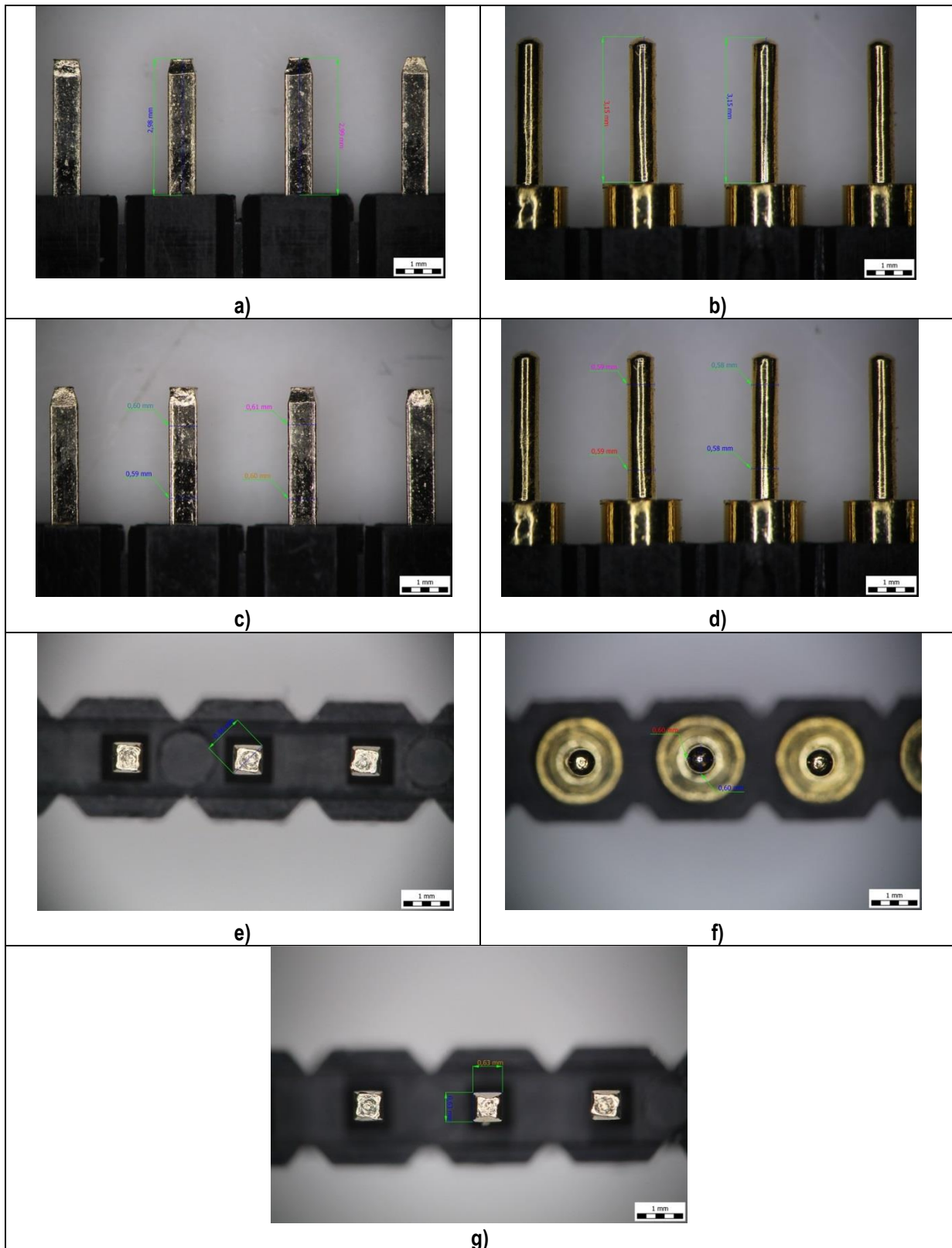
Az előkészületek során először a tükkesorokat vizsgáltam és mértem meg, melyek a 9. ábrán láthatók.



Mivel a gyártási folyamat során jellemzően nem megoldható, hogy minden tüske ugyanolyan szélességű, hosszúságú és a hengeres tükkesorok esetén átmérőjű legyen, így a mért értékekből egy átlagot és szórást számoltam ki. A mért adatok alapján számolt és a későbbiekben felhasznált átlag adatokat az 1. táblázat foglalja magába, míg a magyarázó képeket a 10. ábra mutatja.

1. táblázat. A kísérleti tükkesorok átlagolt adatai

Tükkesor típus	Magasság [mm]	Szélesség [mm]	Átmérő [mm]	Oldalhossz [mm]
Szögletes (5 db)	2,965	0,6	0,86	0,637
Hengeres (6 db)	3,13	0,579	0,608	-



10. ábra. Tűskesor méret ellenőrzése

- a) Szögletes tűskesor magassága b) Hengeres tűskesor magassága
 c) Szögletes tűskesor szélessége (oldalnézet) d) Hengeres tűskesor szélessége (oldalnézet)
 e) Szögletes tűskesor átlója (felülnézet) f) Hengeres tűskesor átmérője (felülnézet)
 g) Szögletes tűskesor oldalhossza (felülnézet)

A mérési adatok alapján terveztem meg az elkészített nyomtatott huzalozású áramkör furatátmérőjét. Ahogy az adatokból is látszik, ha kiszámolom a mért oldalak hosszából a tűske átmérőjét, feltételezve, hogy a tűske valóban négyzet alakú, s használva a Pythagoras-tételt, az adatok nem egyeznek meg. Ezért a minél megfelelőbb furat adatok meghatározásához a mért és számolt adatokat is átlagoltam. Így a következő méreteket kaptam:

Tűskeátmérő:

0,84 mm (szögletes tűskesor)

0,608 mm (hengeres tűskesor)

5.2. Furatátmérők meghatározása

A furatátmérő meghatározásához számolni kell a tűske és a furat fala közötti távolsággal. Ez a méret kulcsfontosságú a furatkitöltés szempontjából, mivel a megömlött forrasz anyag a kapilláris erőnek köszönhetően jut a furatba. A kapilláris erő akkor tudja leginkább kifejteni hatását, ha ez a távolság igen kicsiny, ám egy bizonyos távolság után már olyannyira lecsökken ez az erő, hogy nem tudja a megömlött forrasz anyagot a furatba juttatni. Ezek az értékek a [12]-es irodalom alapján a szögletes tűske esetén 0,254 mm (=0,010"), míg hengeres tűske esetén 0,3048 mm (= 0,012"). Ez a távolság, a fentebb már említett kapilláris erő szempontjából, közelítőleg megfelelő, ám a kisebb távolság lenne az ideálisabb. Ez azonban nem csak a beültetési folyamat miatt nem megoldható, hanem a használt alkatrészek méreteinek szórása miatt sem. Mivel sem az alkatrészek kivezetéseinek méretei, sem a furatok méretei nem pontosak, így kell valamekkora ráhagyás, hogy ezen szórások ne okozzanak gondot a beültetési folyamat során.

Így a tervezett (irodalom által ajánlott) furatméretek a következők lettek:

- Szögletes tűskesor esetén: 1,14 mm

- Hengeres tűskesor esetén: 0,86 mm.

Az elkészült panelek kézhez kapásakor megvizsgáltam, hogy mennyire felelnek meg az általam megadott specifikációknak. A méréseket Olympus SZX9 típusú optikai mikroszkóppal végeztem el. A mintadarabokról 3972x2648 pixel felbontású képeket készítettem, melyeket a Stream Start fényképkezelő programmal elemeztem ki. A vizsgálatok alapján az elkészült áramköri hordozók furat méretei több esetben jelentősen eltértek a tervektől. Az így kapott furatátmérőket 3 csoportba osztottam szét, mivel az egyes eltérések akkorák voltak, hogy azok nem feleltek meg a specifikációm feltételeinek. Ezeket az értékeket montíronként 16 mérési pont alapján határoztam meg.

A három furatátmérői csoport a következő:

- 0,87 – 0,88 mm
- 1,00 – 1,05 mm
- 1,12 – 1,15 mm.

Mivel az 1,00 – 1,05 mm átmérőjű furat igencsak hasonló mértékben tér el az általam meghatározott furat átmérőktől, így meg tudom vizsgálni azt az esetet is, mikor a furat a hengeres tükessornál meghatározott furat átmérőnél nagyobb, illetve a szögletes tükessornál meghatározott furat átmérőnél kisebb.

5.3. A forraszpasztta mennyiségének meghatározása

A [17]-es szakirodalmi cikk alapján a forraszpasztta mennyiségének kiszámolására szolgáló képlet a PIP technológiában a következő:

$$V_{paszta} = \frac{1}{S} (V_{furat} - V_{alkatresz_kivezetes} + 2 \cdot V_{meniszkusz}) \quad (5)$$

$$V_{meniszkusz} = 0,215 \cdot r^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (0,2234 \cdot r + a) \quad (6)$$

$$V_{furat} - V_{alkatresz_kivezetes} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{hordo} - A_{alk.kiv.} \cdot h_{hordo} \quad (7)$$

A (6)-os illetve (7)-es képleteket az (5)-ös képletbe való behelyettesítésével kapható meg a (8)-as összefüggés, melyet a számításaim során használtam fel.

$$V_{paszta} = 2 \cdot [(\pi \cdot r_{furat}^2 - A_{alk.kiv.}) \cdot h_{hordo} + 2 \cdot (0,215 \cdot r^2 \cdot \pi \cdot (0,2234 \cdot r + a))] \quad (8)$$

ahol S : forraszpasztta méretcsökkenési tényező, azaz a zsugorodási tényező (jelen esetben 50%)

h : a nyomtatott huzalozású lemez vastagsága

A : az alkatrész kivezetésének a keresztmetszete

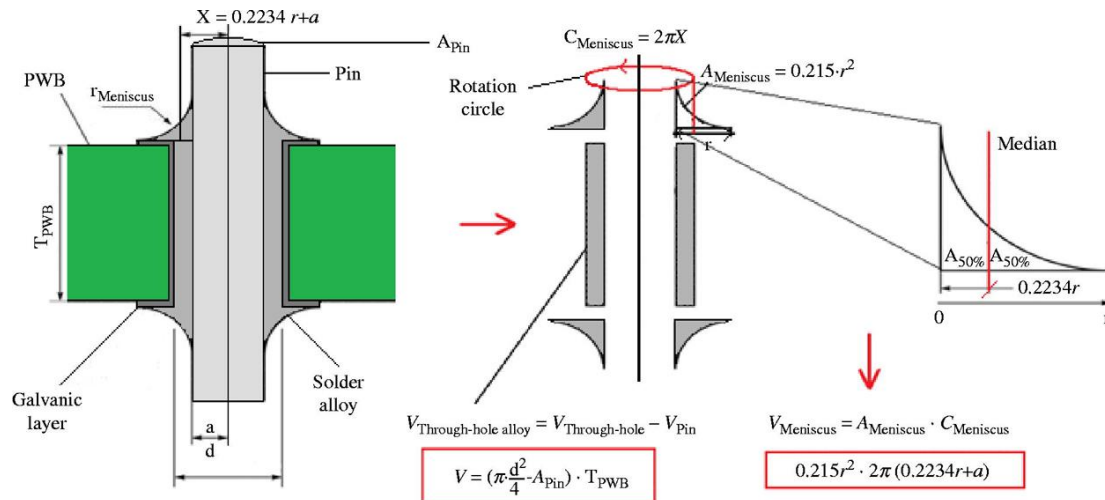
r_{furat} : a furat belsejének a sugara

r : az alkatrész kivezetés falának távolsága a kontaktus felület szélétől

a : az alkatrész kivezetésének sugara.

Feltételezve, hogy a forraszpasztta olyan magasra kúszik fel, mint az alkatrész kivezető falának távolsága a forrasztási pont (pad) szélétől, ekkor a meniszkusz keresztmetszetének felszíne: $A_{meniszkusz} = 0,215 \cdot r^2$. Ezután a meniszkuszt egy gyűrűvel helyettesítjük, melynek sugara X . Ez az X érték a meniszkusz keresztmetszeti felületének felezővonala, ami $0,2234 \cdot r$ és az alkatrész kivezető sugarának összege, ami az a . Ennek az $X = 0,2234 \cdot r + a$. Mivel a meniszkuszt gyűrűvel helyettesítettük, így annak kerülete $K_{meniszkusz} = 2 \cdot \pi \cdot X$.

Tehát a meniszkusz térfogata: $V_{meniszkusz} = A_{meniszkusz} \cdot K_{meniszkusz} = 0,215 \cdot r^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (0,2234 \cdot r + a)$. Melynek szemléletes magyarázatát mutatja a 11. ábrán látható keresztmetszeti kép.



11. ábra. Forraszpaszta mennyiségének meghatározására szolgáló összefüggések [9]

6. Kísérletek megtervezése

A kísérletek megtervezése során az első lépés az volt, hogy meghatároztam a tűkesor-furatátmérő-paszta kombinációkat. Az első lépésben meghatározott két kombináció a kézhez kapott teszt lemezek furat eltérései miatt plusz két kombinációval egészültek ki. Ezen összeállításokhoz a fentebb már megemlített képlet alapján meghatároztam a szükséges forraszpaszta mennyiséget. A számítások alapján meghatározott értékeket a 2. táblázat foglalja magában.

2. táblázat. Szükséges forrasz paszta mennyiségek

Furat átmérők [mm]	Szögletes tűkesor	Hengeres tűkesor
0,87	-	1,153 mm ³
1,136	1,995 mm ³	-
1,028	1,544 mm ³	1,812 mm ³

6.1. Stencil apertúrák megtervezése

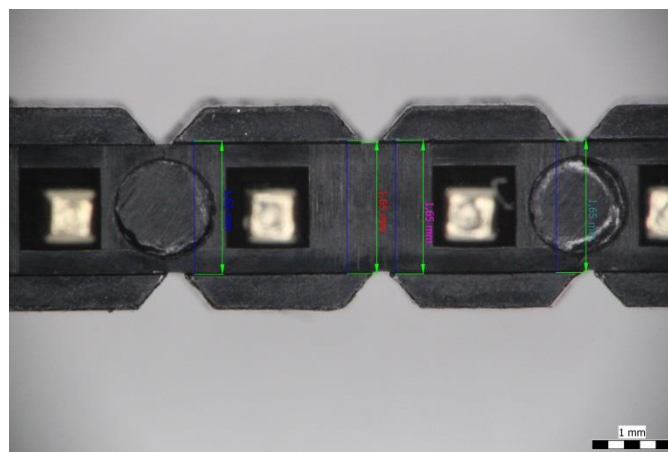
Második lépésként a stencil apertúra méretezése volt a feladat. Mivel elég nagy mennyiségű forraszpasztáról van szó, így ez a feladat kezdetben nehézkesnek tűnt. Ám korábbi tanszéki kutatási illetve kísérleti eredmények alapján megállapítottam, hogy a nyomtatási folyamat során a furatot közel 75%-ig kitölti a forraszpaszta. Ezt az értéket is figyelembe véve, még mindig egy viszonylag vastag,

150 µm-es stencilt kellett választanom. Így a 3. táblázatban található apertúra felületeket kellett megvalósítanom.

3. táblázat. Szükséges apertúra méretek

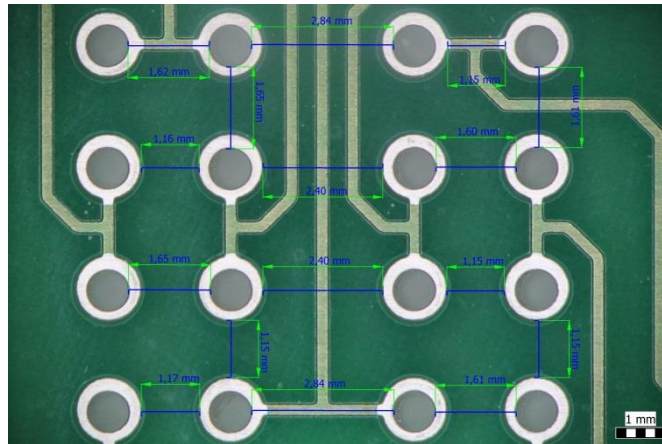
Furat átmérők [mm]	Szögletes túsoros	Hengeres túsoros
0,87	-	3,376 mm ²
1,136	5,952 mm ²	-
1,028	4,277 mm ²	6,06 mm ²

Miután meghatároztam a szükséges apertúra területét, megterveztem és meghatároztam az apertúra oldalait. Itt gondoskodni kellett róla, hogy nyomtatás után a kontaktus felületekre kerülő forraszpaszták ne folyhassanak össze. Ezt úgy lehet elérni, hogy az egyes apertúrák 0,2 mm-nél nem kerülhetnek közelebb egymáshoz. Továbbá a szögletes túsoroshoz való apertúrák megtervezésénél figyelembe kellett vennem, hogy a túsó foglatának van egy, az optikai mikroszkópos mérésekkel meghatározott szélességű, 1,65 mm széles pereme (12. ábra). Ha a felületre kerülő forraszpaszták nyomata szélesebb, mint a foglat pereme, akkor beültetéskor „kettévágja” a pasztát, s az így nem tud teljes egészében megömlésztéskor a furatba kerülni.

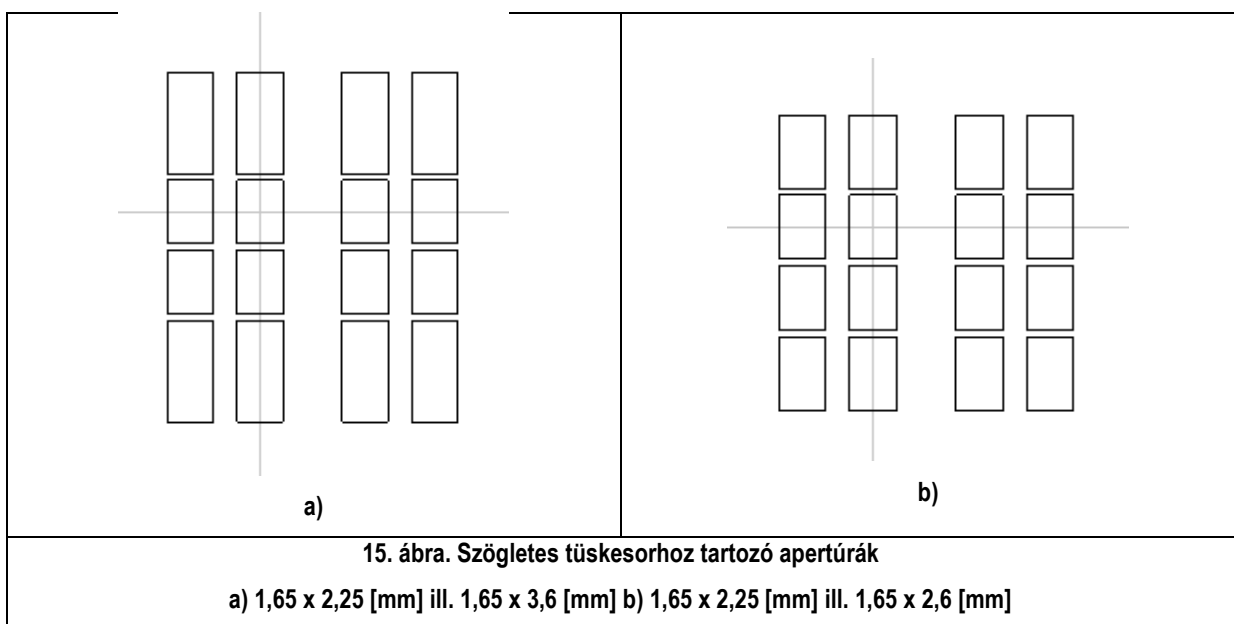
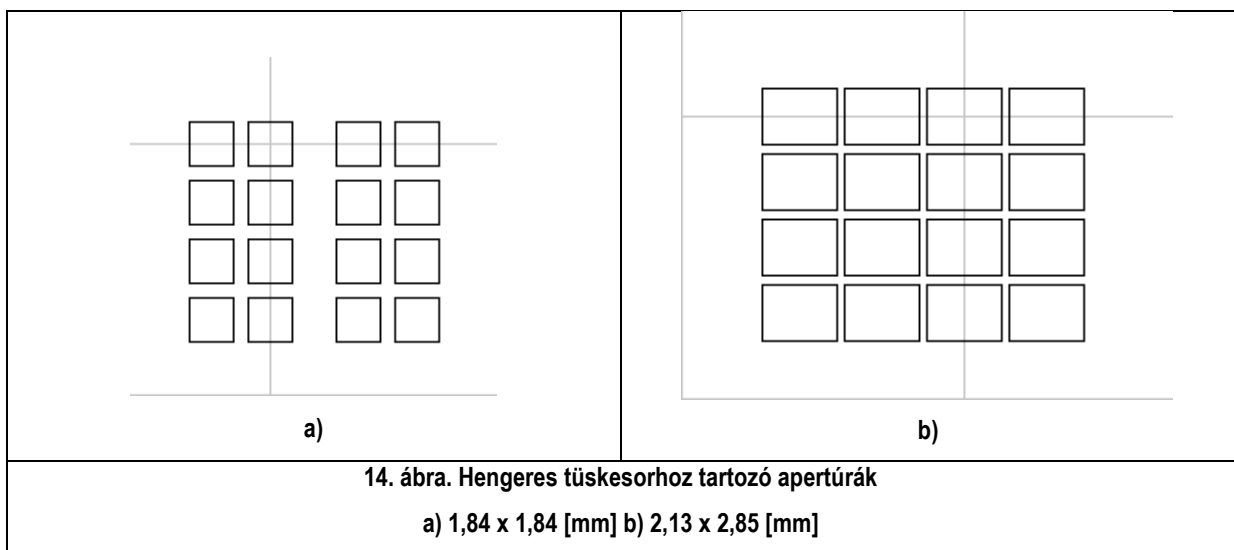


12. ábra. Szögletes túsoros – foglat

Ezen specifikációk figyelembe vételével négy különböző stencil mintát terveztem meg. Mivel az egyes kontaktus felületek körül korlátozott a hely (13. ábra), s a szögletes túsorsornál a foglat miatt adott az apertúrák maximális szélessége, így ezekben az esetekben nem minden furatnál tudtam biztosítani a szükséges apertúra felületet. A 14. ábra a hengeres, míg a 15. ábra a szögletes túsoroshoz tartozó apertúrákat tartalmazza.



13. ábra. Furat és kontaktus felület távolságok



A szögletes tűskesorhoz tervezett apertúra eltérése a korlátozások miatt:

1) *Tervezett: 5,952 mm², megvalósított: 3,7125 mm²*

2) *Tervezett: 4,277 mm², megvalósított: 3,7125 mm²*

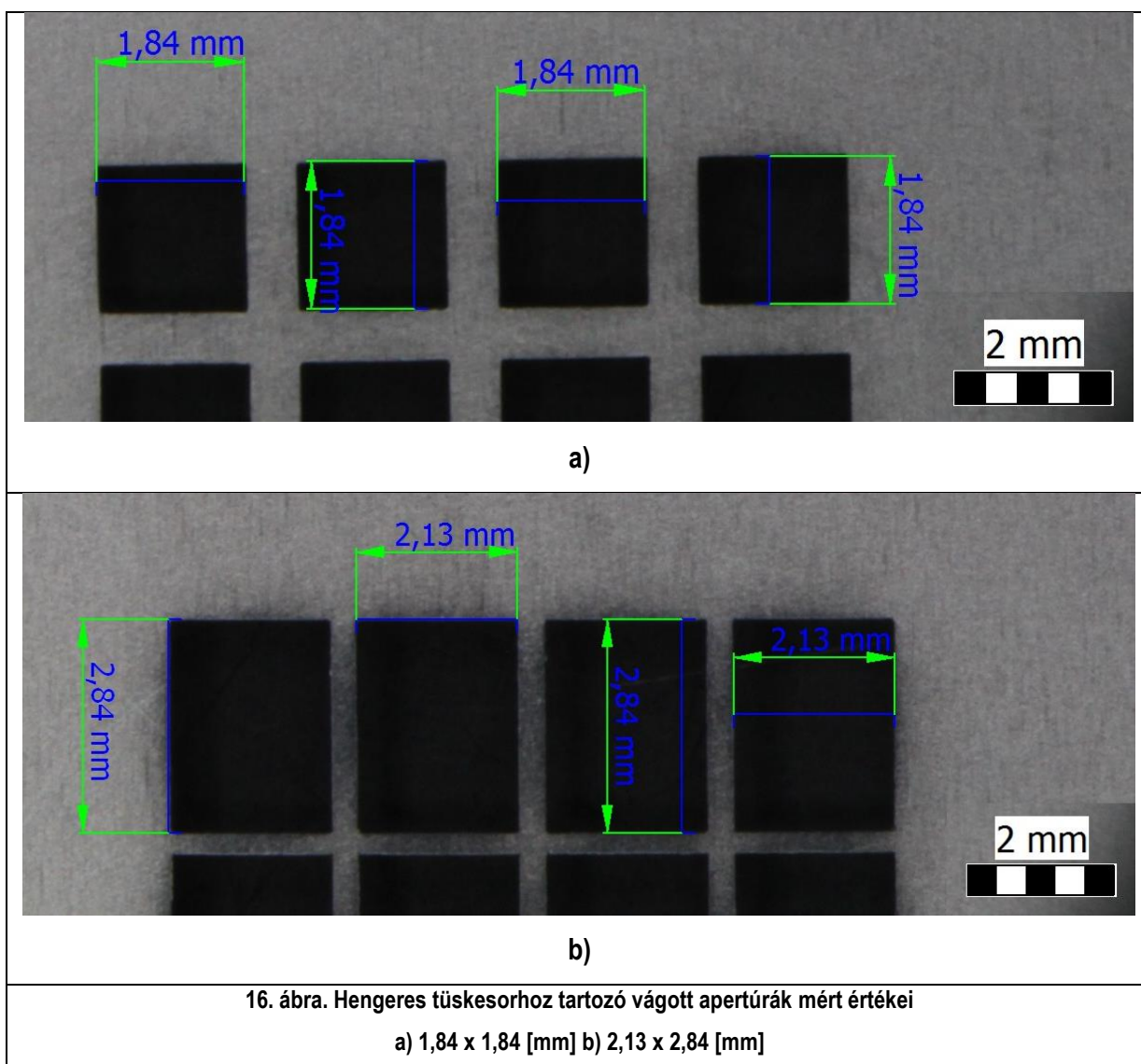
Az ebből fakadó hibákat majd csak a kísérletek elvégzése után tudom megállapítani, s esetleges megoldást keresni rájuk. A hengeres tűskesorhoz tervezett apertúrák méreteinek csak a nyomtatott huzalozású áramköri lemezen található furatok és kontaktus felületek szabtak határt, így azokat a kiszámoltaknak megfelelő méretben tudtam megtervezni.

6.2. Stencil elkészítése és vizsgálata

Az apertúrákat Coherent gyártmányú AVIA típusú, UV Nd:YAG lézerrel vágtam ki, 150 µm vastagságú DEK gyártmányú rozsdamentes acél stencillemezbe. A lézer az ultraibolya tartományban 355 nm hullámhosszú lézerfényel dolgozik. Az apertúra rajzolatokat a WinLase Editor program segítségével terveztem meg. Mikor a tervek véglegessé váltak, a mintázatokat próbaképpen a lézer segítségével papírlapra vágtam ki. Ezt a sablont a teszt lemezekre illesztettem, hogy meggyőződjek róla, hogy pontosan illeszkedik-e. Miután ezt a folyamatot mind a négy mintával elvégeztem, a megtervezett apertúra elrendezéseket a 150 µm vastag stencilbe is belevágtam. Mivel a lézer az ideális ablációs paraméterekkel a lézerfény fókuszpontjában rendelkezik, ezért a lehető legpontosabb apertúraalak elérése érdekében a stencillemez felső felületétől kiindulva több fókuszszíkban távolítottam el az anyagot. A stencil felületétől kiindulva, 50 µm-enként lefelé haladva, 10-10 percig vágtam az anyagot. Így biztosítottam a lehető legegyszerűsebb és pontosabb méreteket. A folyamat során a lézer az alábbi beállításokkal működött:

- Pumpáló áram: 100%.
- Pulzus frekvencia (ismétlés szám): 28 kHz,
- Therma Track: 3100.

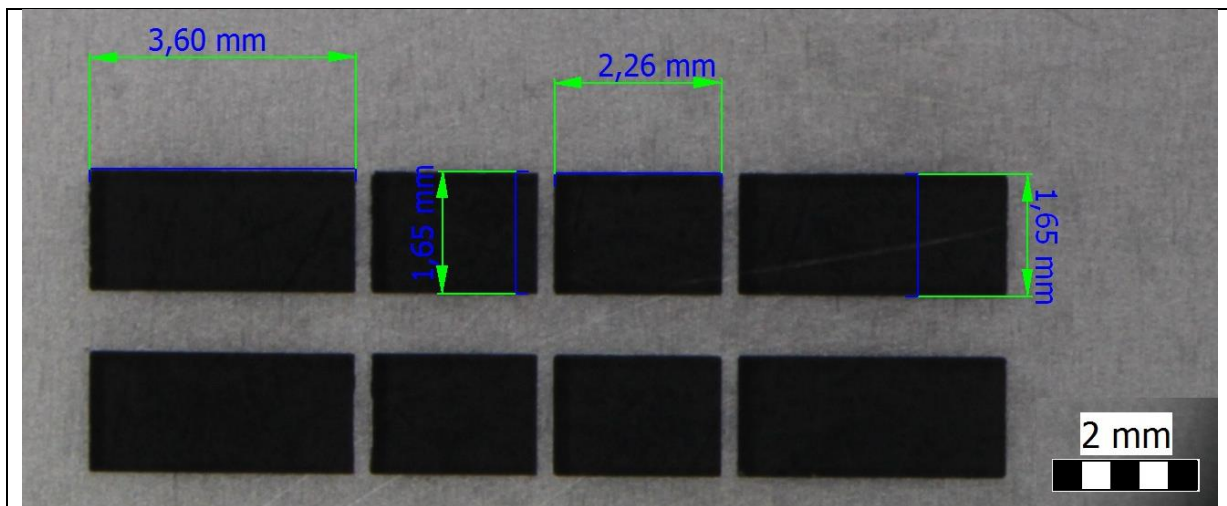
Miután a lézer végzett a vágási folyamattal, a kész apertúra nyílásokat csiszoló papírral sorjamentesítettem és simára csiszoltam. Ezután optikai mikroszkóp segítségével megvizsgáltam illetve megmértem az elkészült apertúrák fizikai méreteit. Méréseim során eltérés alig volt észlelhető, s olyankor is csak század milliméteres volt a különbség. A mérésről készült képek a 16. és a 17. ábrán láthatók.



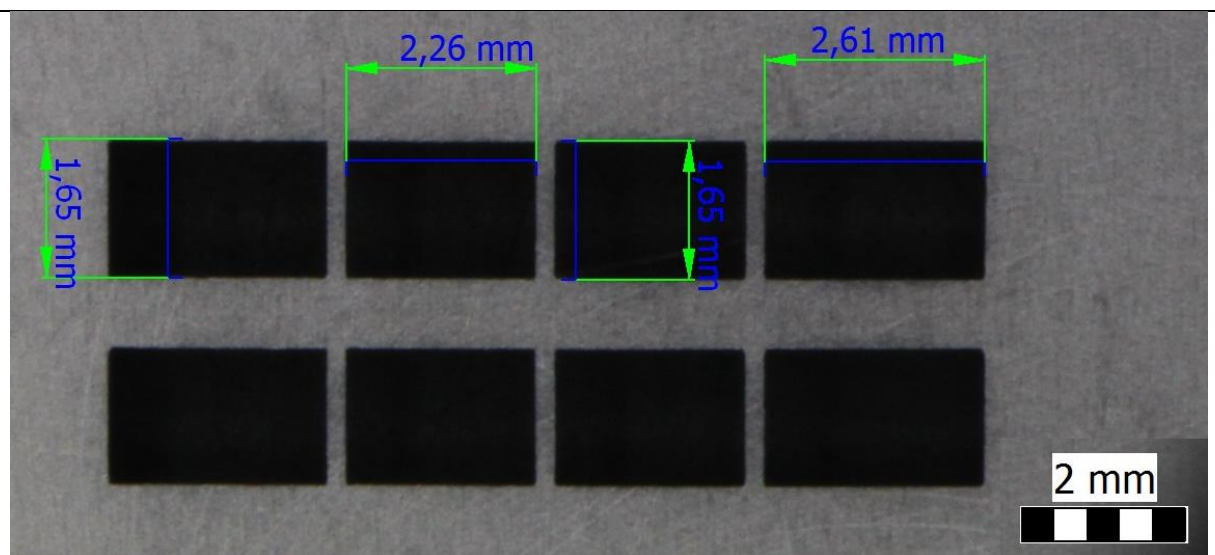
Az elkészült mérési felvételek alapján jól megfigyelhető, hogy az a) képen látható apertúrák értékei megegyeznek a megtervezett értékekkel. Míg a b) képen látható apertúrák mért értékei közül csak az egyik tér el a megtervezettől mindössze 0,01mm-rel.

- Tervezett értéke: 2,13 x 2,85 mm; 6,07 mm²
- Mért érték: 2,13 x 2,84 mm; 6,049 mm².

Ez az érték a majdani stencilnyomtatás során felvitt forraszpasztta mennyiségét nem fogja jelentős mértékben befolyásolni.



a)



b)

17. ábra. Szögletes tűkesorhoz tartozó vágott apertúrák mért értékei

a) 1,65 x 2,26 [mm] ill. 1,65 x 3,6 [mm] b) 1,65 x 2,26 [mm] ill. 1,65 x 2,61 [mm]

Az elkészült mérési felvételek alapján jól megfigyelhető, hogy az a) és a b) képen látható apertúrák értékei kis mértékben eltérnek a tervezettől.

- a) és b) kép:
 - Tervezett érték: 1,65 x 2,25 mm; 3,7125 mm²
 - Mért értéke: 1,65 x 2,26 mm; 3,729 mm²
- b) kép:
 - Tervezett érték: 1,65 x 2,6 mm; 4,29 mm²
 - Mért értéke: 1,65 x 2,61 mm; 4,3065 mm²

Az így kapott értékekkel kiszámolva a tényleges apertúra területét, látható, hogy az értékek nem befolyásolják nagymértékben a stencilnyomtatási folyamat során felvivendő forraszpaszták mennyiségét, sőt, még jobban közelítik az ideálisnak tekintett pasztamennyiséget, a megtervezetthez képest.

6.3. Alkalmazott forraszpaszták

A kísérletek megkezdése előtt megvizsgáltam az alkalmazandó paszták összetételét. A kísérletek során használt forraszpaszták:

- Senju M705-GRN360-K1-V, Type 3
- Loctite Multicore 97SC (SAC305), Type 4
- Stannol SP318 (TSC84-3-400), Type 3

Senju M705-GRN360-K1-V [18]

- *Összetétele:* 96,5% Sn; 3% Ag; 0,5% Cu
- *IPC besorolás:* Type 3
- *Átlagos forraszgolyó méret:* 25 – 45 μm
- *Olvasási hőmérséklet:* 217 ~ 220 $^{\circ}\text{C}$
- No-Clean típusú, tehát a forrasztási folyamat után nem kell eltávolítani a folyasztószer maradványokat
- Stencilnyomtatáshoz használatos forraszpaszták

Loctite Multicore 97SC (SAC305) [19]

- *Összetétele:* 96,5% Sn; 3% Ag; 0,5% Cu
- *IPC besorolás:* Type 4
- *Átlagos forraszgolyó méret:* 20 – 38 μm
- *Olvasási hőmérséklet:* ~217 $^{\circ}\text{C}$
- No-Clean típusú, tehát a forrasztási folyamat után nem kell eltávolítani a folyasztószer maradványokat
- Stencilnyomtatáshoz használatos forraszpaszták

Stannol SP318 (TSC84-3-400) [20]

- *Összetétel:* 95,5% Sn; 3,8% Ag; 0,7% Cu
- *IPC besorolás:* Type 3
- *Átlagos forraszgolyó méret:* 25 – 45 μm
- *Olvadási hőmérséklet:* 217C°
- No-Clean típusú, tehát a forrasztási folyamat után nem kell eltávolítani a folyasztószer maradványokat
- Diszpenzáláshoz használatos forraszpaszta

7. Kísérletek elvégzése

Miután minden olyan elsődleges mérést elvégeztem, melyek elengedhetetlenek a kísérletek megkezdéséhez, a már kiválasztott forraszpaszták ismeretében elkészítettem a furatátmérő – tűske – forraszpaszta kombinációkat. Ezeket a 4. táblázat foglalja magában.

4. táblázat. Teszt panel kombinációk és elnevezések

	Hengeres tűskesor		Szögletes tűskesor	
	Senju M705-GRN360-K1-V	Loctite Multicore 97SC	Senju M705-GRN360-K1-V	Loctite Multicore 97SC
0,87	HS01..03	HT01..03	-	-
1,028	-	-	NS01..03	NT01..03
1,136	HS11..13	HT11..13	NS11..13	NT11..13

A dolgozatom további részeiben a 4. táblázatban található elnevezéseket fogom használni és azokkal fogok hivatkozni az egyes eredmények összehasonlításánál.

Mivel a tesztek két különböző pasztával végeztem el, így minden egyes teszt csoportot kétszer hajtottam végre. Minden furatátmérő – tűske – forraszpaszta kombinációból három darab teszt panelt készítettem, az eredmények jobb átlagolása miatt.

A kísérletek elvégzése során mindig arra törekedem, hogy minden egyes teszt panel azonos körülmények között készüljön el. Igyekeztem biztosítani a munka során a forraszpaszták azonos hőmérsékletét, minden tűskesor azonos módon történő beültetését illetve, hogy minden panel azonos ideig legyen a gőzfázisú kemencében.

7.1. HS01..03 és HS11..13

7.1.1. Stencilnyomtatás

A teszt panelek elkészítésének első lépése a stencilnyomtatás volt, melyhez egy DEK 248 típusú stencilnyomtatót használtam. Ehhez a 4. táblázatban összefoglalt kombinációkhoz előkészítettem a nyomtatott huzalozású lemezeket. A már elkészített stencilt behelyeztem a DEK gyártmányú Vector Guard stencil keretbe, ezzel együtt behelyeztem a stencilnyomtatóba. A behelyezés előtt még vastag átlátszó ragasztószalaggal leragasztottam a nem használt apertúrákat.

Először a HS01..03 és HS11..13 elnevezésű paneleket készítettem el. Ehhez előbb a másik három kísérleti panelhez tartozó apertúrákat gondosan leragasztottam, hogy a nyomtatási folyamat során a kések ne tudják átnyomni feleslegesen a pasztát a nem használt apertúrákon. Eztán a megfelelő, 0,87 mm és 1,028 mm furatátmérővel rendelkező nyomtatott huzalozású lemezeket vákuum technikával rögzítettem a stencilnyomtatón. Ez azt jelenti, hogy az NYHL-t tartó fejekbe vákuum vezeték van belevezetve, s az azokon lévő gumis tapadó fejekben keresztül vákuum segítségével van rögzítve több alátámasztási ponton a lemez. Majd mielőtt megkezdtem volna a beállítási folyamatot, minden egyes panelt izopropil alkohollal megtisztítottam, ezzel eltávolítva az esetlegesen odakerült ujjlenyomatokat illetve zsírfoltokat. Ezek után megkezdtem a beállítási folyamatot.

Beállítási folyamat:

- i. A pozícionáló asztal felemelése addig, hogy a panel érintkezzen a stencillel, s az rásimuljon. Ehhez a stencilnyomtatóban be kellett állítani a gap értékét 0.00mm-re.
- ii. A panel furatainak igazítása a stencil apertúrákhoz, ehhez a pozícionáló asztal X, Y illetve θ (theta) irányba történő elmozdítását / elforgatását használtam.
- iii. Nyomtatási tartomány beállítása. Vagyis beállítottam, hogy a kések a nyomtatási folyamat során mekkora utat tegyenek meg, ezzel csökkentve a forraszpasztta felesleges szétkenését a stencil nem használt részein.

A beállítási folyamat elvégzése után felhelyeztem a késeket, majd felhelyeztem a forraszpasztát, műanyag kenőlapát segítségével. Ehhez előzőleg kivettem a hűtőből a Senju M705-GRN360-K1-V pasztát, s megvártam, míg felmelegszik szobahőmérséklet környékére, ezzel biztosítva, hogy a paszta az adatlapján megadott ideális reológiai tulajdonságokkal rendelkezzen. Ez azért

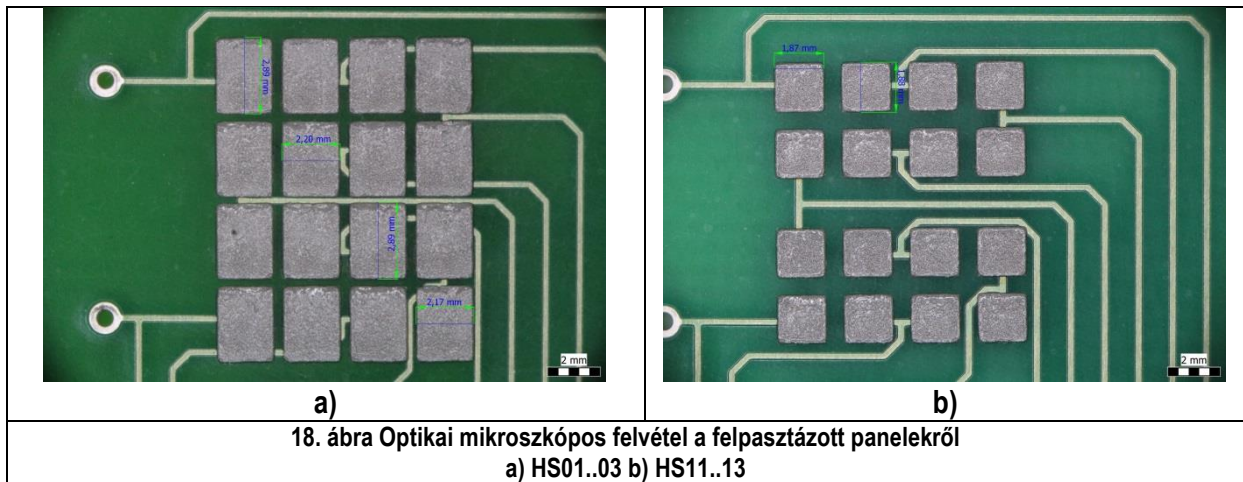
szükséges, mert a forraszpaszta hűtött állapotában keményebb állagú, nehezebben kenhető lesz. Ha hűtött állapotában nyomtattam volna fel a pasztát, nem lehetett volna garantálni, hogy a megfelelő mennyiségű paszta kerüljön a furatba, ilyen állapotban a paszta nem „gördül” hanem kenődik a stencilen [15], s ezzel meggátolva a furatba kerülését. Emellett a tégelyt a szobahőmérséklet eléréséig tilos kinyitni, hiszen a levegő páratartalma lecsapódna a paszta felületére, ez a víz pedig elpárolgásával, felforrásával a kemencében gondot okozhat.

Miután felkentem a megfelelő pasztamennyiséget, ami 10-15 nyomtatásra is elegendő lenne, a „gördülés” kialakulása érdekében, megkezdtem a nyomtatási folyamatot. A panelek nyomtatása során a stencilnyomtató a következő specifikációkkal üzemelt:

- Sebesség: 20 mm/sec
- Kések dőlésszöge: 60°
- Késerő: 95 N
- Kések szélessége: 30 cm

A nyomtatási folyamat után, a kész felpasztázott panelt kétoldali keskeny alátámasztással a szélein emelvényre tettem, hogy az alja ne érjen az asztalhoz, ezzel megakadályozva, hogy az esetlegesen átbuggyanó paszta elkenődjön, s ezzel csökkentve annak mennyiségét. A többi tesztpanel nyomtatásánál szintén egyenként történt a pozícionáló beállítás, a minél pontosabb illeszkedés érdekében, minden alkalommal letisztítva a stencilt.

Miután az első három panelt, azaz a HS01..03-t felpasztáztam, kivettem a nyomtatóból a stencilt, s eltakarítottam, a következő három, HS11..13 panelek nyomtatásához. Ehhez el kellett távolítani az átlátszó ragasztószalagot, izopropil alkohollal megtisztítani a használt apertúrákat és leragasztani az új nyomtatásnál nem használtakat. Ezek elvégzése után megismételtem a beállítási folyamatot, majd lenyomtattam a következő három panelt is. Az elkészült felpasztázott paneleket optikai mikroszkóp segítségével megvizsgáltam. Ezzel a méréssel azt ellenőriztem, hogy a nyomtatás után a felvitt paszta nem folyt-e össze, vagyis ellenőriztem a nyomtatásminőséget. A mikroszkópos vizsgálat során készült felvételek láthatók a 18. ábrán.



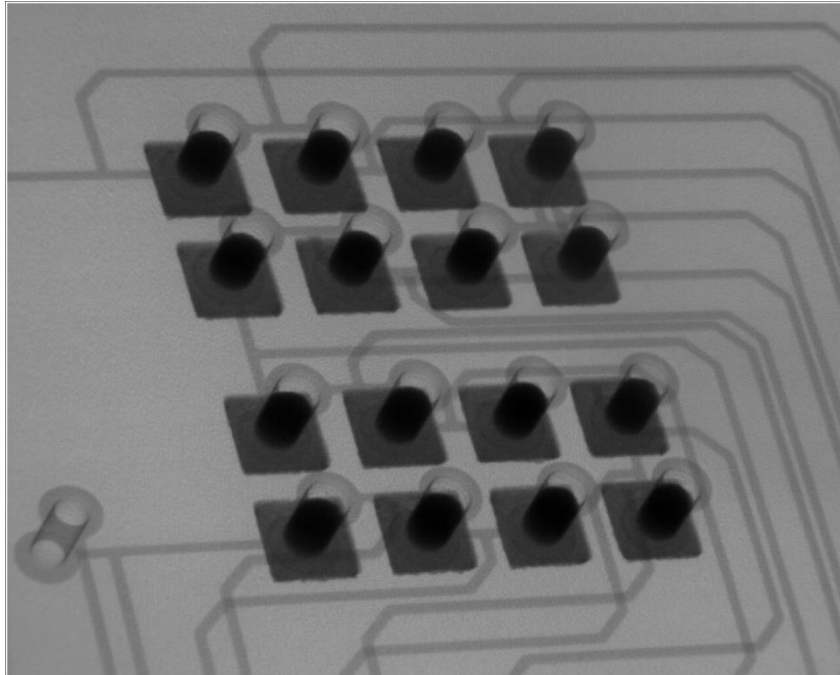
A felvételek alapján megállapítottam, hogy az apertúrák kontúrjai élesek, s azok nem folytak össze. Habár a forrasztásnak volt területe, a végeredmény jó minőségű, a tervezettnél megfelelő nyomat lett.

7.1.2. Röntgen mikroszkópos vizsgálat és beültetés

Az optikai mikroszkópos vizsgálat után röntgenmikroszkópos vizsgálatnak vettem alá a felpasztázott paneleket a paszta általi furatkitöltés vizsgálatához. Ehhez az Dage XiDat 6600 típusú röntgen mikroszkópot használtam, amely a következő beállításokkal működött:

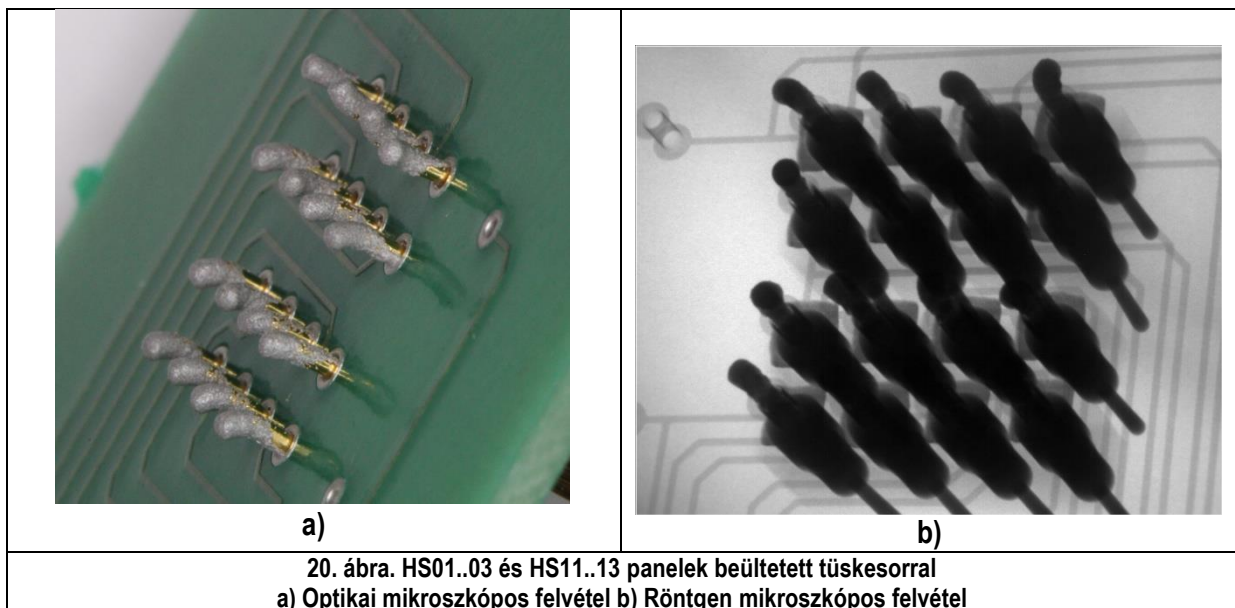
- Röntgenső katódfeszültsége (tube voltage): 100 kV
- Röntgenteljesítmény (tube power): 0,99 W
- Szűrő (filter used): Nincs
- Képtárolás (averaging): 128 képet átlagol (128 frames)

A célom a vizsgálattal az volt, hogy ellenőrizzem, hogy a furatokba került forrasztás mennyisége kitölti-e a furat legalább 75%-át. Ha ez nem teljesül, akkor az azt jelenti, hogy az elvárthoz képest kevesebb paszta kerül felvitelre, ami módosíthatja a mérési eredményeket és nem felel meg az IPC szabványnak. Ilyen röntgen mikroszkópos felvétel látható a 19. ábrán.



19. ábra. Röntgen mikroszkópos felvétel a felpasztázott panelről
(döntött nézet)

A röntgen mikroszkópos felvételek alapján megállapítottam, hogy a furatokat minimum 75%-ban töltötte ki a forraszpasztta, s ez megfelel annak a mennyiségnek, amivel az apertúra meghatározásánál számoltam. A vizsgálatok után beültettem a hengeres tűkesorokat. A beültetés előtt azonban azokat is letisztítottam izopropil alkohollal, hogy az esetleges zsíros/savas ujjlenyomatok ne befolyásolják a forrasztanyag felfutását a megömlesztési folyamat során. A 20. ábrán a beültetett panelről látható egy optikai- és egy röntgen mikroszkópos felvétel.

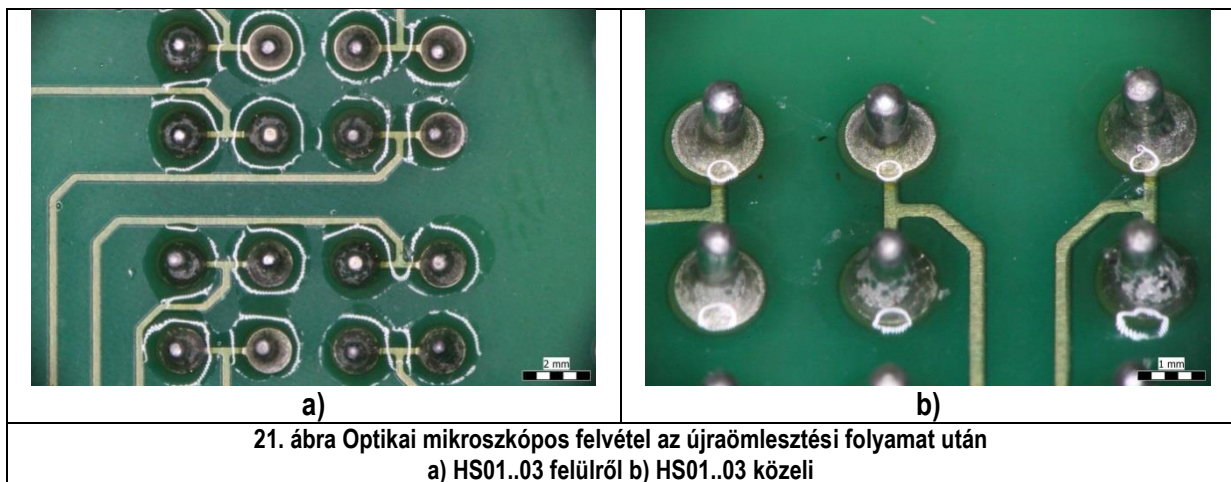


20. ábra. HS01..03 és HS11..13 panelek beültetett tűkesorral
a) Optikai mikroszkópos felvétel b) Röntgen mikroszkópos felvétel

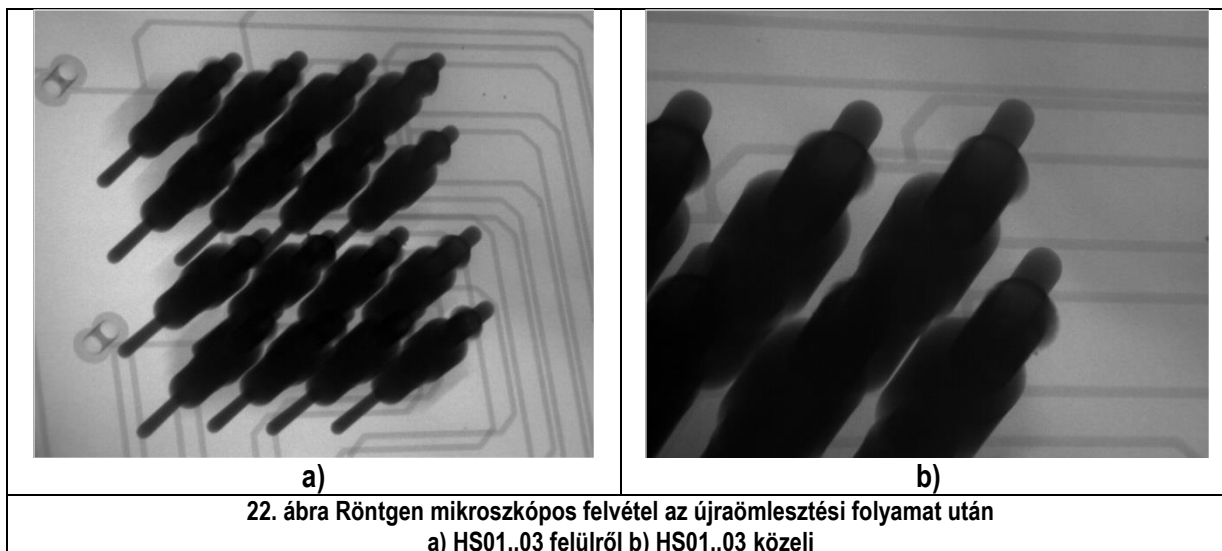
A felvételeken jól látszik, hogy a tűskesorok beültetésével a nyomtatási folyamat során a furatba kerülő pasztát a tűskék kinyomták. Ez nem jelent problémát, mert a kapilláris erő a megömllesztési folyamat során biztosítja, hogy a megömlött forrasztanyag felfusson a tűskéken és kitöltse a furatot. Így az a tény, hogy a tűskék átnyomták a paszta egy részét elméletileg nem okoz gondot a kötés és a furatkitöltés kialakulásánál, de erre a mérési eredmények kiértékelésénél részletesebben ki fogok térni.

7.1.3. Megömllesztési folyamat

A tűskesorok beültetését követően az újraömllesztéses forrasztás következett. Az újraömllesztési folyamathoz az Asscon Quicky 450 típusú gőzfázisú kemencét használtam. A kemencében a megömllesztési folyamathoz szükséges gőzt az LS230 típusú Galden folyadék biztosította, melynek forráspontja: 230 C° [21]. A teljes folyamat az előmelegítéssel és a hűtéssel együtt kb. 25 percet vett igénybe. Ebből a megömllesztési szakasz 30 másodpercig 230 C°-on történt. Az újraömllesztési folyamat megkezdése előtt gondoskodnom kellett róla, hogy a panelek kemencébe helyezésekor ne érjen a pasztás tűskesor a gőzfázisú kemencében található paneltartó rácshoz. Ezt távtartók segítségével oldottam meg, melyek biztosítják a kellő távolságot a rács és a tűskék végei között. A paneleket a távtartók szélére helyeztem, ezzel gondoskodva arról, hogy a fémtartók ne tudják elvonni a hőt a beforrasztás során a kötésektől. Miután a gőzfázisú kemence végzett az újraömllesztési folyamattal, a kész paneleket kivettem a kemencéből és megvártam, míg teljesen kihűltek. Ezután optikai- és röntgenmikroszkópos vizsgálatnak vettem alá őket. A felvételeket a 21. és 22. ábra mutatja.



21. ábra Optikai mikroszkópos felvétel az újraömllesztési folyamat után
a) HS01..03 felülről b) HS01..03 közeli



22. ábra Röntgen mikroszkópos felvétel az újraömléstartási folyamat után
a) HS01..03 felülről b) HS01..03 közeli

Az optikai mikroszkópos vizsgálattal azt ellenőriztem, hogy az újraömléstartási folyamat után milyen lett a kialakult meniszkusz, illetve mennyire futotta be körbe a forrasztóanyag a furat körüli fémezett pad-et. A felvételeken látható, hogy a meniszkuszok alakja homorú lett, s az egész pad-et befutotta a forrasztóanyag. A röntgen mikroszkópos vizsgálattal a furatkitöltést illetve az esetlegesen kialakult zárványokat vizsgáltam. Az elkészült felvételeken látható, hogy jó lett a furatkitöltés, azokban zárvány csak minimális vagy egyáltalán nem található.

Az elkészült panelek értékelését az 5. táblázat foglalja magában.

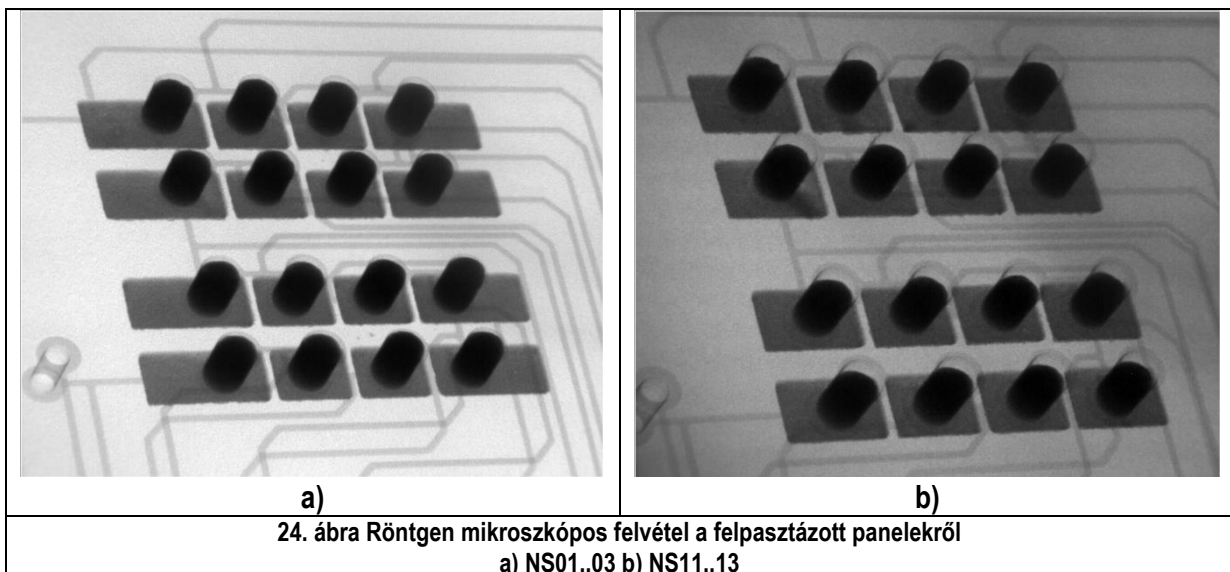
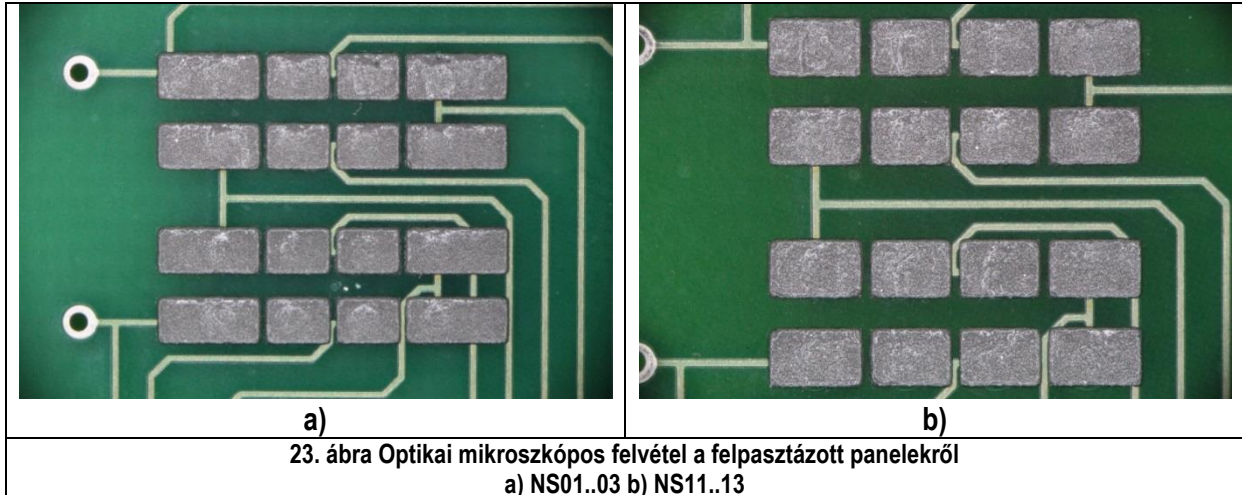
5. táblázat. Vizsgálati eredmények

	Meniszkusz alakja	Nedvesítési szög körben	Furatkitöltés	Zárványok	Forrasztógyók
HS01	Elfogadható	< 330°	>75%	Minimális látható	Nem látható
HS02	Megfelelő	Körülbelül 330°	>75%	Minimális látható	Nem látható
HS03	Megfelelő	>330°	>75%	Minimális látható	Nem látható
HS11	Megfelelő	>330°	Körülbelül 75%	Látható	Nem látható
HS12	Elfogadható	>330°	65 - 70%	Látható	Nem látható
HS13	Elfogadható	>330°	55 - 65%	Látható	Nem látható

Ezen információk ismeretében hasonlítottam össze az egyes mérési eredményeket. Ezeket a mérési eredmények kiértékelésénél bővebben fogom tárgyalni.

7.2. NS01..03 és NS11..13

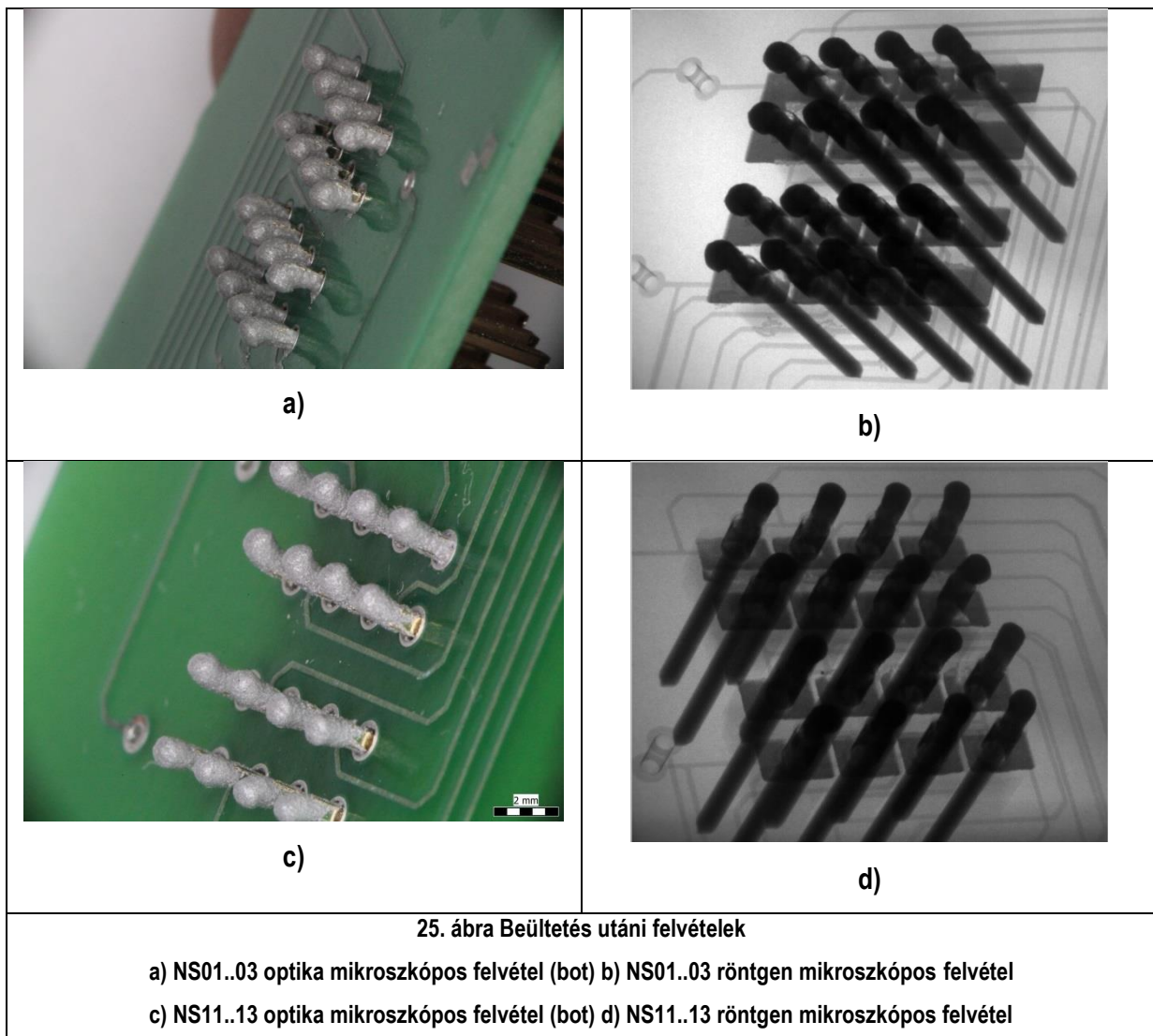
A teszt panelek vizsgálata utána elkészíttem az NS01..03 és NS11..13 kódú paneleket. Ehhez az 1,136 mm és 1,028 mm furatátmérővel rendelkező nyomtatott huzalozású lemezeket használtam fel. Az ezekről készült mérési felvételek a 23. és 24. ábrán láthatók.



A 23. ábrán látható optikai mikroszkópos felvételeken jól látszik, hogy akárcsak a HS01..03 és HS11..13 teszt paneleknél, úgy itt ezeknél sem folyt meg annyira a felyomtatott forraszpasztta, hogy az apertúrák elveszítsék a kontúrjaikat. Azonban a 24. ábra a) röntgen mikroszkópos felvételeken az látszik, hogy az NS01..03 teszt panelek esetén, a stencilnyomatási folyamat során a furatba került forraszpasztta mennyisége jóval meghaladta az elméleti számításoknál figyelembe vett 75%-os kitéltést, s annak értéke közel 100%-ra adódott. Ezzel a felvitt forraszpasztta mennyisége $0,367 \text{ mm}^3$ –rel több lett, ami már befolyásolhatja a kialakuló meniszkusz alakját. Mivel mind a három, NS01..03 teszt panelnél a furatkitöltés $\sim 100\%$ -ra adódott, így érdemes lesz ezt a tényt megvizsgálni a későbbi

NT01..03 röntgen mikroszkópos felvételeinek ismeretében. Erre azért van szükség, mert a HS01..03 NYHL-ek, 0,87 mm-es és a HS11..13, NS11..13 NYHL-ek 1,028 mm-es furatátmérő felasztás után 75%-os furatkitöltést mutattak. Ami azt jelenti, hogy mindössze 108 um-nyi furatátmérő növekedés már jelentősen befolyásolhatja a forraszpaszta furatba történő benyomulását.

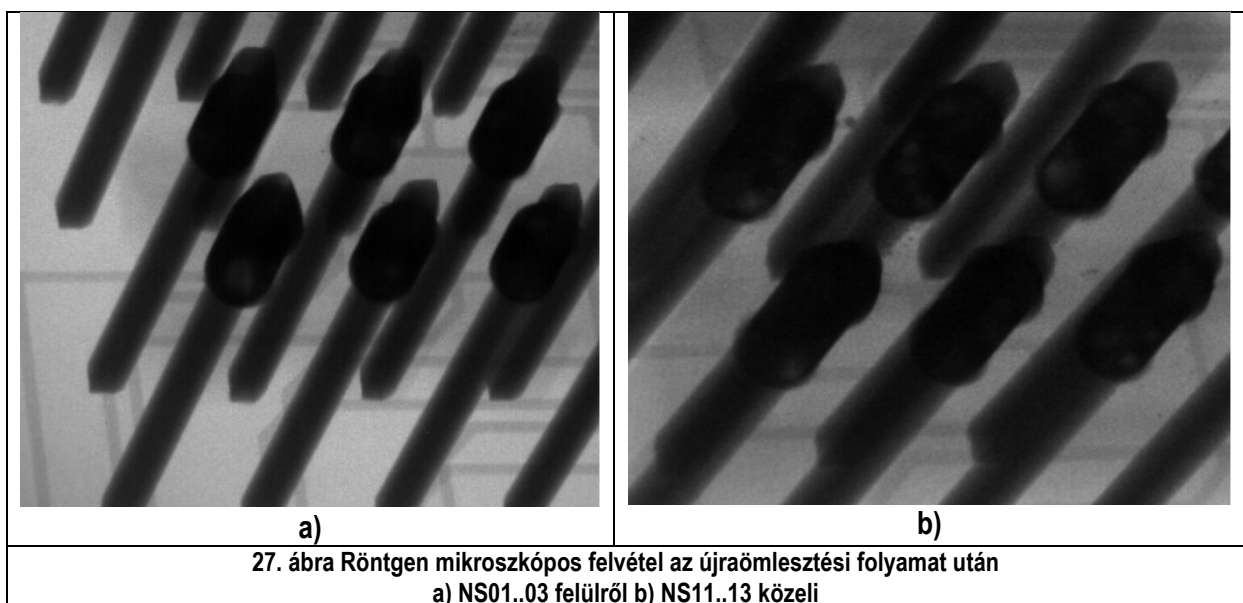
Ezt követően, az előzőekkel megegyezően, beültettem az előzőleg már feldarabolt és izopropil alkohollal zsírtalanított tűkesorokat. A beültetés után megvizsgáltam optikai mikroszkóppal, hogy a tűkék mennyire nyomták át a panel bottom oldalára a furatban lévő forraszpasztát, ezen felül még röntgen mikroszkópos felvételeket is készítettem arról, hogy mennyi forraszpaszta maradt a beültetés után a furatokban. Az erről készült felvételek láthatóak a 25. ábrán.



Habár az 1,136mm furatátmérővel rendelkező NYHL furataiba a forraszpaszta 100%-ig benyomult, a tűskesorok beültetése után mégis több forraszpaszta maradt a furatban, mint az 1,028mm furatátmérőjűnél. Tehát a tűskék nem nyomtak át több pasztát, mint a többi esetben. Így ezzel kisebb lehet a zárvány kialakulásának esélye az újraömléstartás után. A felvételek a 26. és 27. ábrán láthatók.

Az optikai mikroszkópos felvételeken (26. ábra) megfigyelhetjük, hogy az újraömléstartás után a forraszfém az egész pad-et befutotta illetve nem keletkeztek forraszgolyók. A kialakult meniszkuszok alakja az elvártakhoz képest NS01..03 paneleknél nem homorú, hanem domború. Megvizsgálva a röntgen mikroszkópos felvételeket, a meniszkuszok domborúságát a furatban keletkezett zárványok és a nyomtatás során a furatba került forraszpaszta többlet magyarázza. Habár az NS11..13 teszt panelek felvételein láthatóan a legtöbb meniszkusz homorú alakú, ennek ellenére a furatban itt is keletkeztek zárványok. Ennek magyarázata az lehet, hogy a kapilláris erő nem tudta kifejteni kellőképpen a hatását.

Az eredményeket a 6. táblázat foglalja magában.



6. táblázat. Vizsgálati eredmények

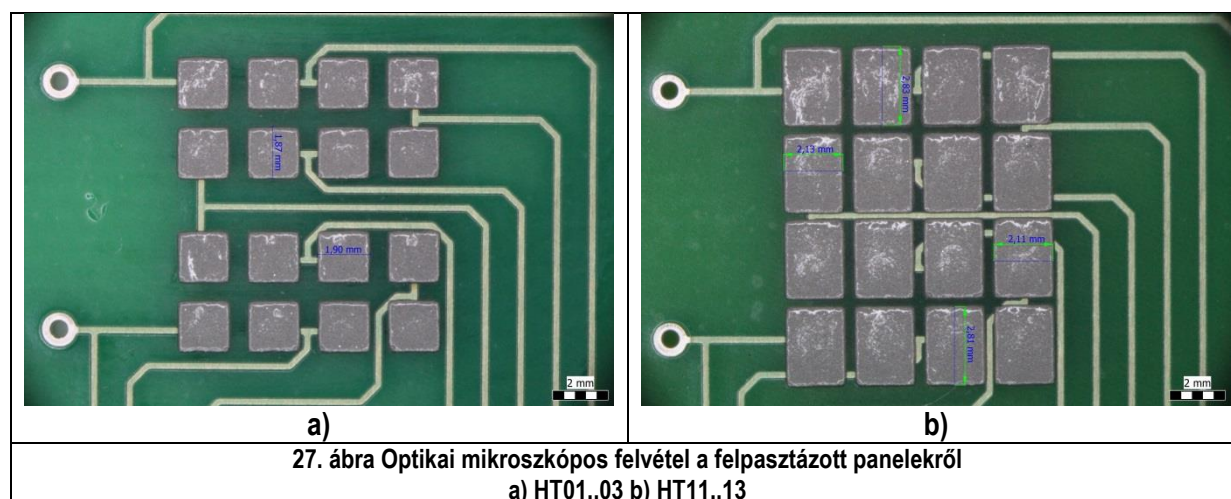
	Meniszkusz alakja	Nedvesítési szög körben	Furatkitöltés	Zárványok	Forraszgolyók
NS01	Elfogadható	>330°	65 - 70%	Látható	Látható
NS02	Elfogadható	>330°	70 - 75%	Látható	Látható
NS03	Elfogadható	>330°	70 - 75%	Látható	Látható
NS11	Elfogadható	>330°	Körülbelül 60%	Látható	Látható
NS12	Megfelelő	>330°	Körülbelül 60%	Látható	Látható
NS13	Megfelelő	>330°	55 - 60%	Látható	Látható

A vizsgálatok során megállapított eredményeket az összes teszt panel elkészülése után összehasonlítom. Erről a mérési eredmények kiértékelésnél bővebben fogok írni.

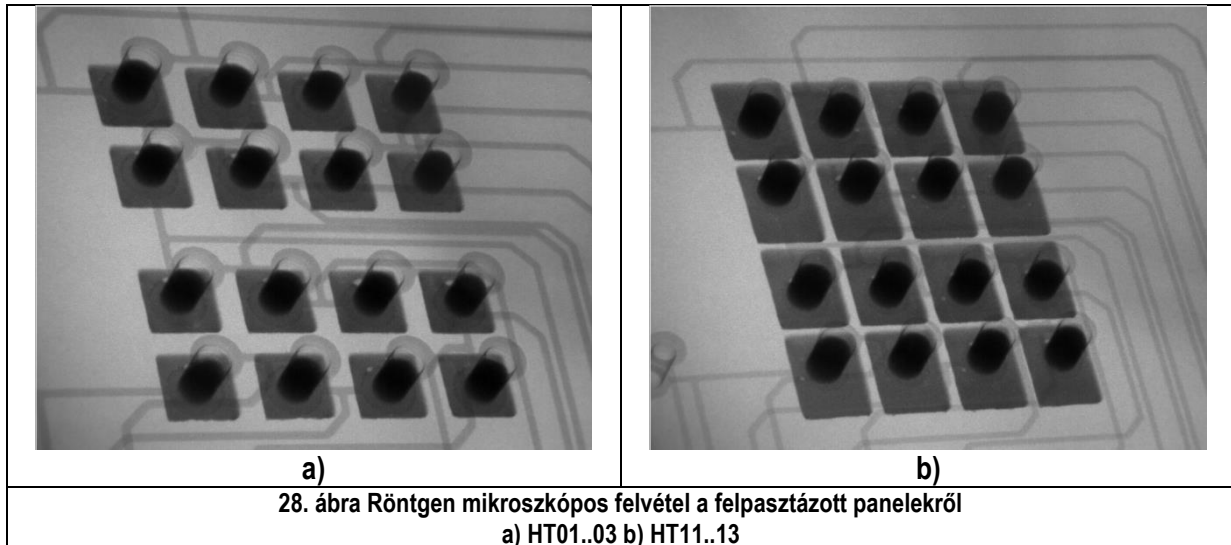
7.3. HT01..03 és HT11..13

A HT01..03 és HT11..13 teszt panelekhez már a Loctite Multicore 97SC (SAC305)-ös forraszpasztát használtam. Ezen forraszpaszta használatánál is biztosítottam, hogy a kísérletek az előzőekkel megegyező körülmények között zajlódjanak le.

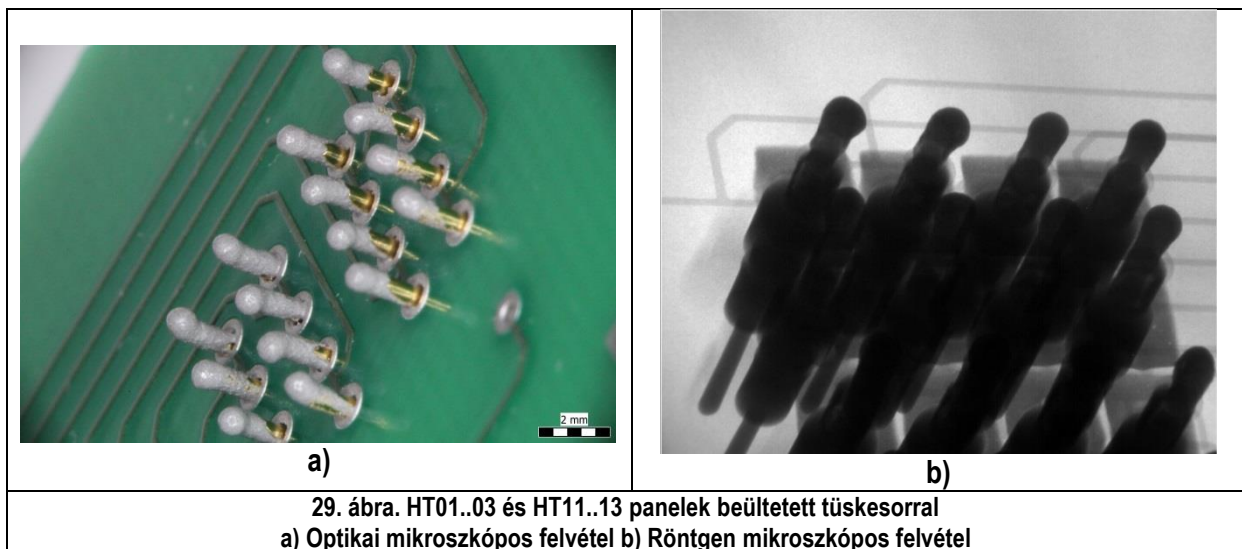
A stencilnyomtatás után ellenőriztem a forraszpaszta területét, s azt, hogy mennyire nyomult a furatba. Az elkészült felvételek a 27. és 28. ábrán láthatók.



27. ábra Optikai mikroszkópos felvétel a felpasztázott panelekről
a) HT01..03 b) HT11..13



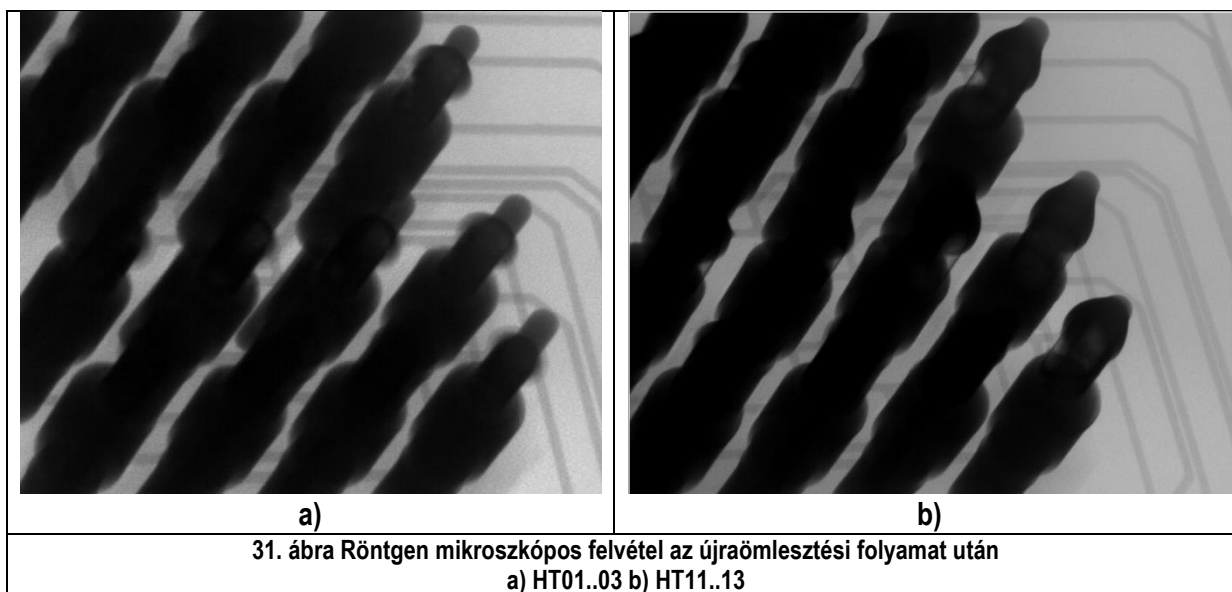
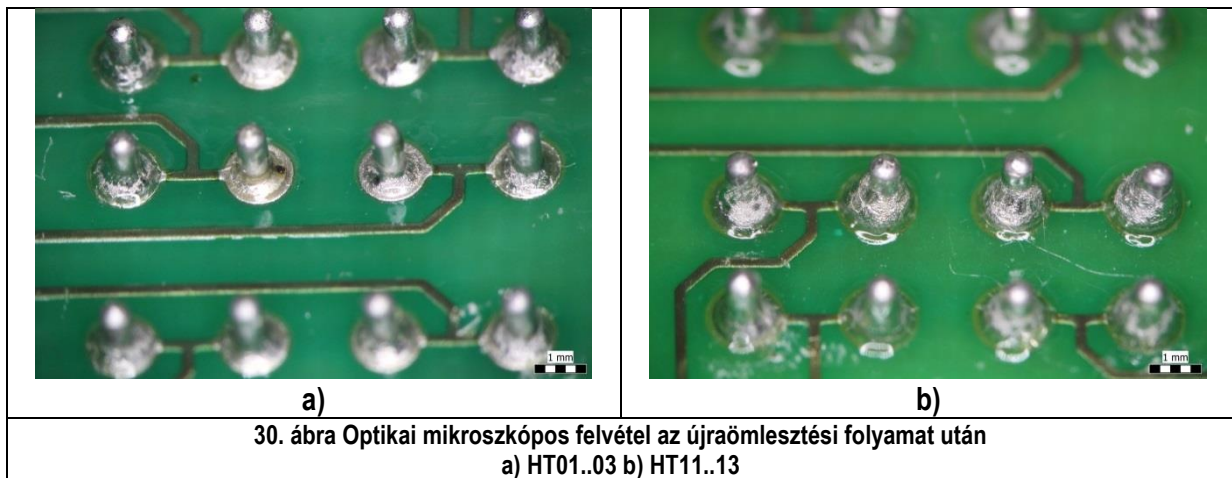
Az optikai mikroszkópos felvételtől látszik, hogy a forraszpaszta jobban megfolyt, mint a Senju M705-GRN360-K1-V pasztával felyomtatott NYHL-ek. Ezen kívül a paszta felszíne sokkal fényesebb, ezt az a tény magyarázza, hogy a Loctite pasztában több a folyasztószer. Ezen kívül a paszta furatba nyomulása a 28. ábra a) felvételén látható 0,87 mm furatátmérővel rendelkező panel furatait a forraszpaszta körülbelül 70%-ban töltötte ki, ami nem okoz számottevő eltérést. Míg a b) felvételen látható panelen 75%-ban töltötte ki a forraszpaszta a furatokat. Ezután beültettem a feldarabolt és megtisztított tüskesorokat. A beültetés után megvizsgáltam, hogy a tüskék mennyi pasztát nyomtak át a panel bottom oldalára, illetve, hogy mennyi paszta maradt a furatban. A felvételeket a 29. ábrán láthatók.



Az optikai mikroszkópos felvételen jól látszik, hogy a tüskék a paszta nagy részét átnyomták, ezzel lehetőséget adva a légbuborék kialakulásának. Azonban a röntgen mikroszkópos felvételen az is látszik, hogy a furatban is maradt paszta, ami csökkentheti a zárványok kialakulását. Az újraömlészesi folyamat után röntgen mikroszkóp segítségével megvizsgáltam, hogy mennyi zárvány keletkezett a

furatban, milyen lett a furatkitöltés illetve milyen lett a kialakult meniszkusz. Az elkészült felvételek a 30. és 31. ábrán láthatók.

Az optikai mikroszkópos felvételen (30. ábra) látható, hogy az újraömlés után a forraszfém a pad-ek teljes egészét befutotta, s az a) képen látható meniszkuszok alakjai homorúak. Ez a tény arra enged következtetni, hogy jó lett a furatkitöltés, amit a 31. ábra a) képen látható röntgen mikroszkópos felvétel is megerősít. Míg a HT11..13 teszt panelek esetében a meniszkuszok alakja nem homorúak, ami viszont a rossz furatkitöltésre enged következtetni. Ezt a tényt a röntgen mikroszkópos felvétel is alátámasztja. A HT11..13 teszt panelek esetén a rossz furatkitöltést a kis kapillaris erő okozhatta, mely az optimálisnál nagyobb furatátmérő következménye lehet. A felvételeken forraszgolyók nem láthatók.

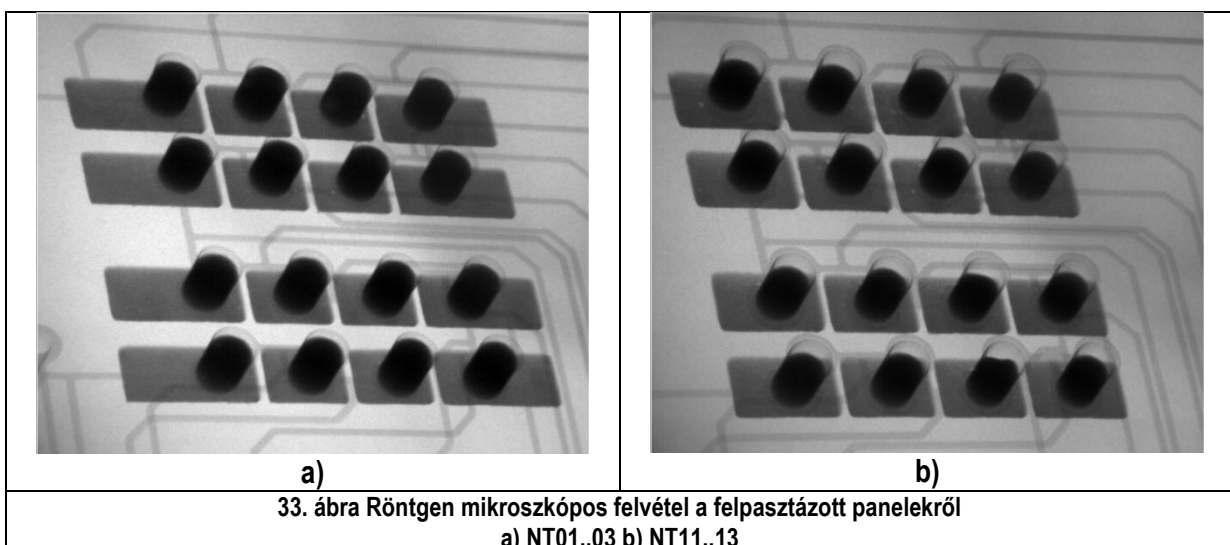
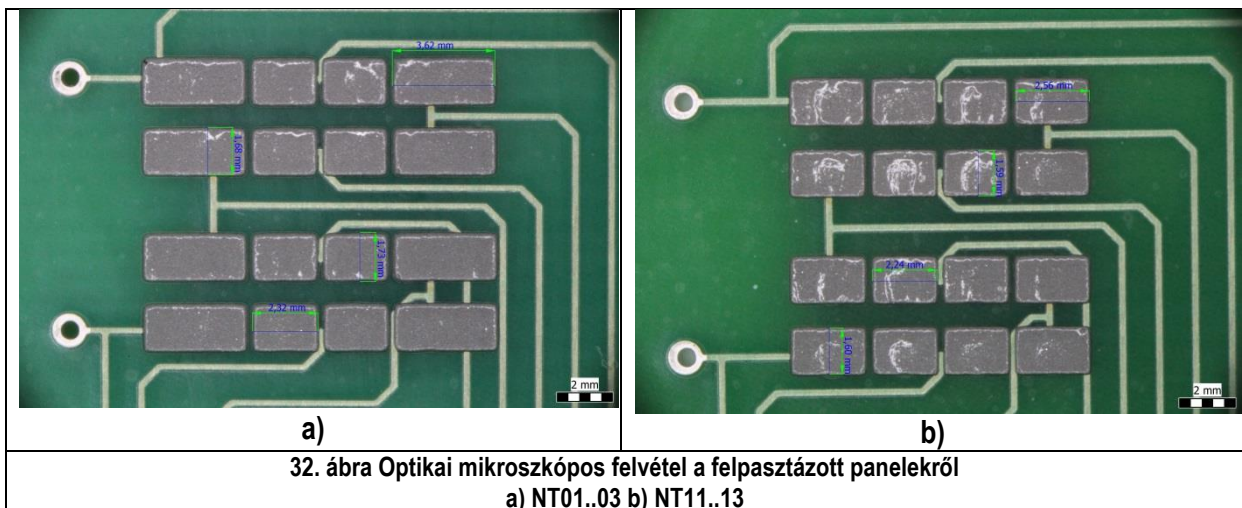


7. táblázat. Vizsgálati eredmények

	Meniszkusz alakja	Nedvesítési szög körben	Furatkitöltés	Zárványok	Forraszgolyók
HT01	Megfelelő	Legalább 330°	Legalább 75%	Minimális látható	Nem látható
HT02	Megfelelő	Legalább 330°	Legalább 75%	Minimális látható	Nem látható
HT03	Megfelelő	Legalább 330°	körülbelül 75%	Látható	Nem látható
HT11	Elfogadható	>330°	Körülbelül 65%	Látható	Nem látható
HT12	Elfogadható	>330°	55 - 65%	Látható	Látható
HT13	Elfogadható	>330°	50 - 60%	Látható	Nem látható

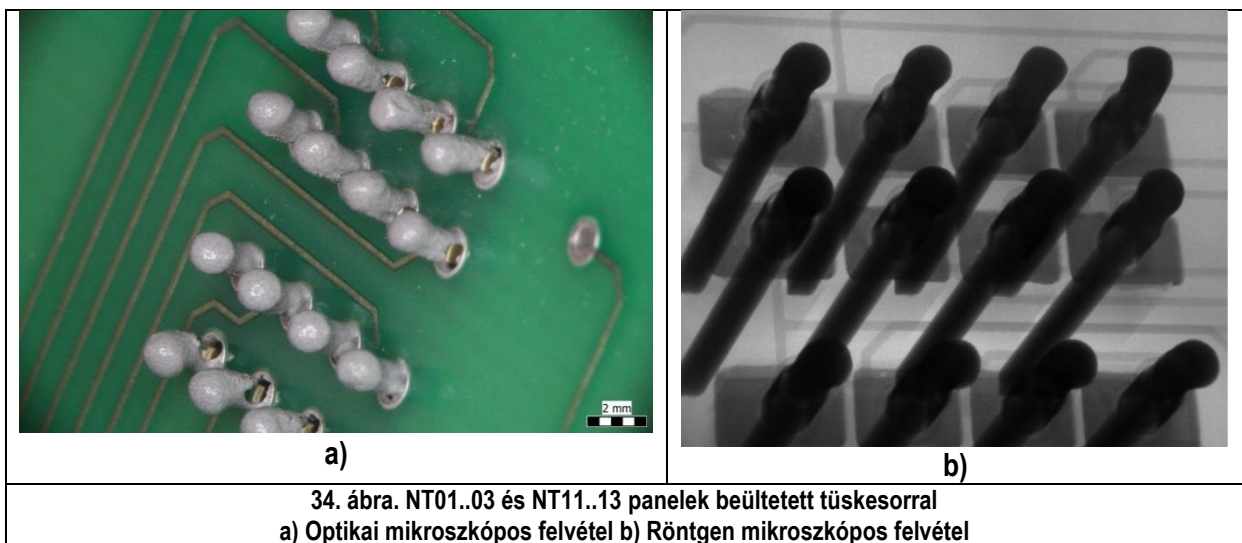
7.4. NT01..03 és NT11..13

A teszt panelek vizsgálata utána elkészítettem az utolsó 6db, NT01..03 és NT11..13 teszt paneleket. Az ezekről készült mérési felvételek a 32. és 33. ábrán láthatók.



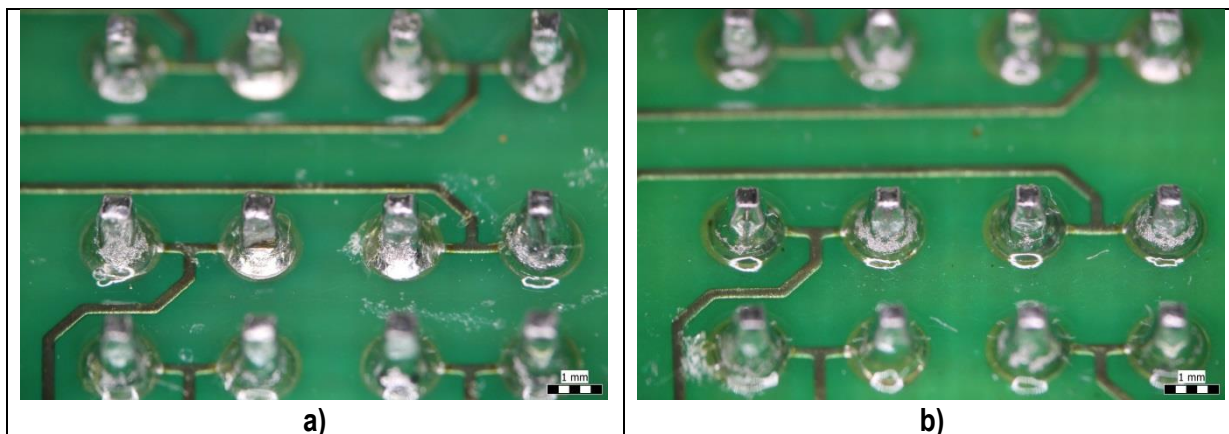
Az optikai mikroszkópos felvételen látszik, hogy mivel a pasztában több a folyasztószer, így a területe is nagyobb, mint a Senju pasztáé. Ezért az apertúrák kontúrjai nem olyan élesek és az egymás mellett lévő pasztanyomatok közel vannak az összefolyáshoz. Azt, hogy az újraömlésznél ez ne okozzon gondot, a forrasztás gátló lakk bevonat akadályozza meg. A röntgenfelvételen jól látszik, hogy az 1,028 mm furatátmérővel rendelkező panelek furatkitöltése 75%, míg az 1,136 mm furatátmérőjű paneleknél 90% felett van. Ezzel arra lehet következtetni, hogy mivel az NS01..03 paneleknél is jóval 90% felett volt paszta mennyisége a furatban, így a paszta furatba nyomulása erősen függ a furat átmérőjétől, de a pasztától is. A pasztától való függés onnan látszik, hogy a Loctite paszta nem töltötte ki a teljes furatot.

Ezután beültettem a feldarabolt és megtisztított tüksorokat, majd megvizsgáltam a furatban maradó és a tűskék által a panel bot oldalára átnyomó paszta mennyiségét. A felvételek a 34. ábrán láthatók.

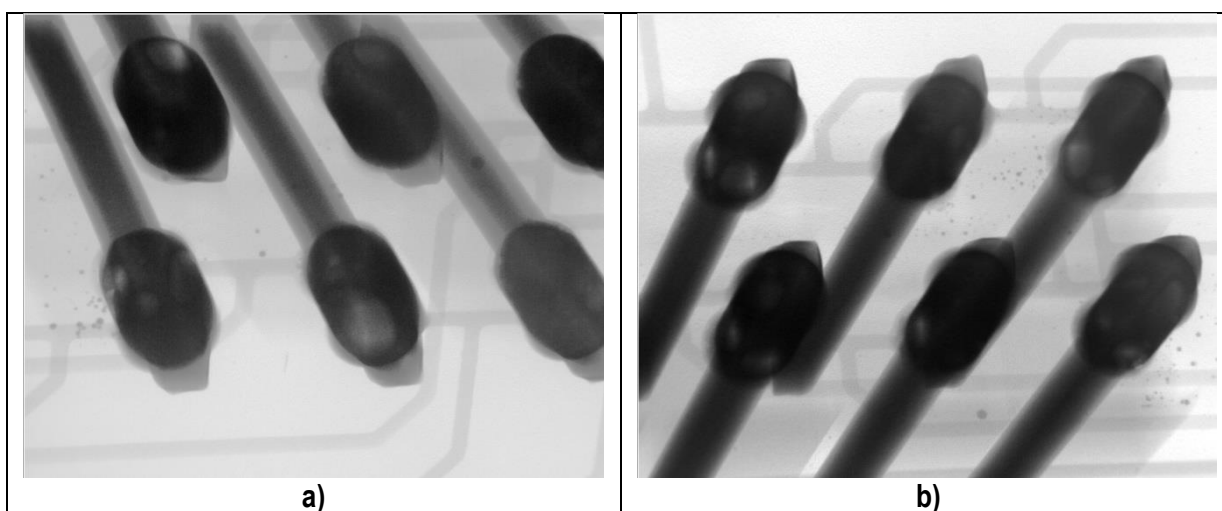


A felvételeken látható, hogy ennél a pasztánál kisebb mértékben nyomták át a pasztát a tűskék, s a furatban is nagyobb mennyiség maradt. Ez csökkentheti az újraömlésznél a furatban kialakuló zárványok számát és nagyságát, s növelheti a furatkitöltést. Az újraömlésznél a furatban készült optikai- és röntgen mikroszkópos felvételek a 35. és 36. ábrán láthatók.

Az optikai mikroszkópos felvételen (35. ábra) látható, hogy a forraszfém az összes pad-et teljesen befutotta illetve, hogy a meniszkuszok alakja a domborúságuk miatt arra enged következtetni, hogy a furatkitöltés nem lett a legjobb. Ezt a röntgen mikroszkópos felvétel (36. ábra) is megerősíti. A felvételeken látszik, hogy az NT01..03 teszt panelek furatkitöltése kicsivel jobb lett, mint az NT11..13, ami a kapilláris erő jobb érvényesülését is mutathatja. Emellett a zárványok jelenlétét az is elősegíthette, hogy az alkalmazott forraszpasztában több volt a folyasztószer, aminek az az eredménye, hogy jobban zsugorodik a forraszpasztá. A röntgenfelvételeken még az látszik, hogy igen sok kis apró forraszgolyó keletkezett. Ez szintén a hígabb forraszpasztá következménye lehet, mivel ugyan az apertúra a tüksor pereméhez lett méretezve, azonban a forraszpasztá felvitele után az bizonyos mértékig szétterült. Így beültetés utána a tüksor pereme meggátolta a megömlésznél a furatba való bejutását.



35. ábra Optikai mikroszkópos felvétel az újraömléztési folyamat után
a) NT01..03 b) NT11..13



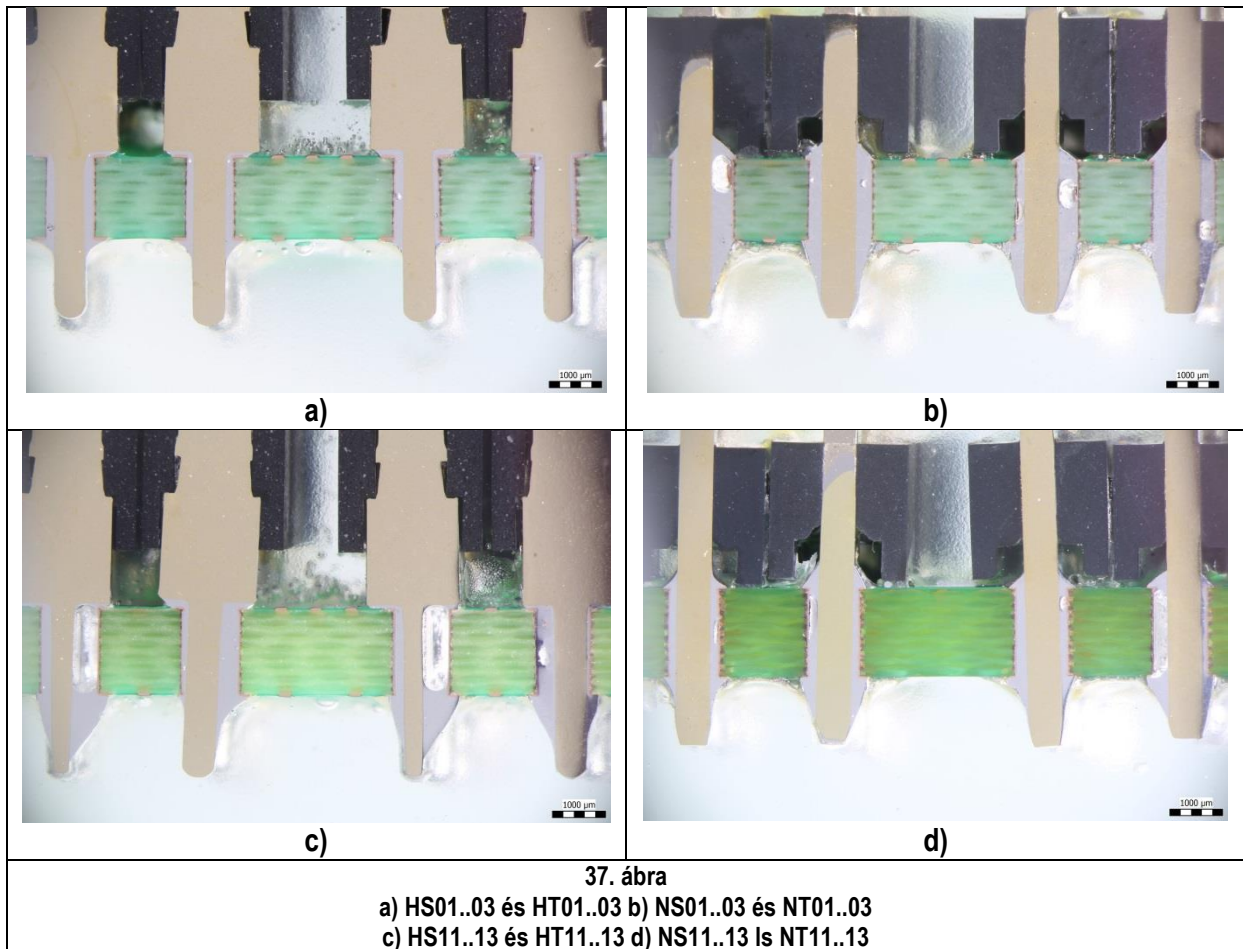
36. ábra Röntgen mikroszkópos felvétel az újraömléztési folyamat után
a) NT01..03 b) NT11..13

8. táblázat. Vizsgálati eredmények

	Meniszkusz alakja	Nedvesítési szög körben	Furatkitöltés	Zárványok	Forraszgolyók
NT01	Megfelelő	Legalább 330°	Körülbelül 70%	Látható	Látható
NT02	Megfelelő	Legalább 330°	Körülbelül 60%	Látható	Látható
NT03	Elfogadható	Legalább 330°	60 - 65%	Látható	Látható
NT11	Elfogadható	>330°	Legalább 65%	Látható	Látható
NT12	Elfogadható	>330°	60 - 65%	Látható	Látható
NT13	Elfogadható	>330°	60 - 65%	Látható	Látható

7.5. Keresztmetszeti csiszolatok

A megfelelően dokumentált panelokról ezután keresztmetszeti csiszolatot készítettem. Ezek a 37. ábrán láthatók.



Jól látható, hogy a hengeres tűkesornál az ideális furatátmérővel a furatkitöltés szinte 100% (HS01..03 és HT01..03), míg a nagyobb furattal 60% és 70% között van (HS11..13 és HT11..13). A zárványok a szürke forraszfémekben lévő fényes részek.

A szögletes tűkesornál az ideális furatátmérővel a furatkitöltés közelíti a 70-75%-ot (NS01..03 és NT01..03), míg a kisebb furattal (NS11..13 és NT11..13), olykor az egész panel vastagságában zárvány fut végig, ezzel jelentősen lecsökkentve a furatkitöltést, s gyengítve a mechanikai stabilitást.

A keresztmetszeti csiszolatok elkészítése közben láthatóak voltak olyan zárványok, melyek a csiszolási folyamattal eltűntek. Így a biztosabb információt a zárványokról a röntgen mikroszkópos felvételek biztosítanak.

7.6. Diszpenzációs kísérlet:

Kísérleteim során diszpenzációs technikával való pasztafelviteli módot is kipróbáltam. Azonban azon teszt panelek, melyek ezzel a technikával készültek nem lettek eredményesek. Nem tudtam felvinni az ideálisnak megfelelő forraszpasztát mennyiségű, így szinte minden panel az újraömlési folyamat után hibásak lettek.

Mivel így egyik panel sem ment volna át a minőségellenőrzésen, ezen eredményeket nem vettem figyelembe a kísérletek kiértékelése során. Ez nem azt jelenti, hogy ilyen technikával nem lehet jó minőségű PIP kötések létrehozni, de az általam használt eszközök erre nem voltak alkalmasak.

8. Mérési eredmények kiértékelése

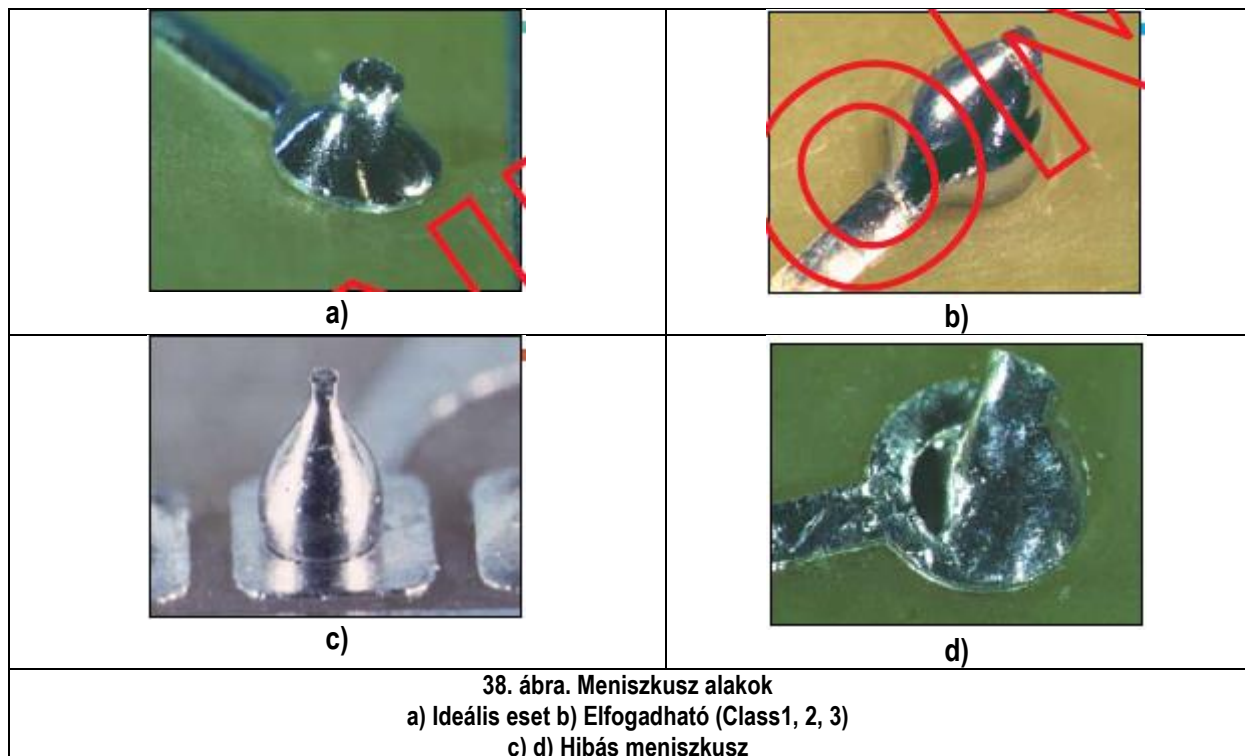
A mérési eredmények kiértékelését az IPC-A-610 szabvány 2010-ben kiadott E verziója [22] alapján végeztem el. A szabvány az újraömlési folyamat során kialakult fémes kötések vizsgálatánál 4 fontos szempontot vesz figyelembe. Ezen szempontok:

- Meniszkusz alakja
- Nedvesítési szög körben
- Furatkitöltés
- Forraszgolyók

Az IPC szabvány az alkalmazási területtől függően három különböző osztályba sorolja a kialakuló forraszkó elfogadhatóságát. Ezen osztályok közül a Class1 és Class2 a mindennapi életben alkalmazott, kisebb igénybevételnek kitett készülékeket sorolja, míg a Class3 a legszigorúbb kritériumokat magában foglaló osztályba pedig az orvosi, hadi, űrtechnikai készülékeket sorolja. A vizsgálataim során az egyes teszt panel csoportokat ezen osztályokba soroltam be.

8.1. Meniszkusz alakja

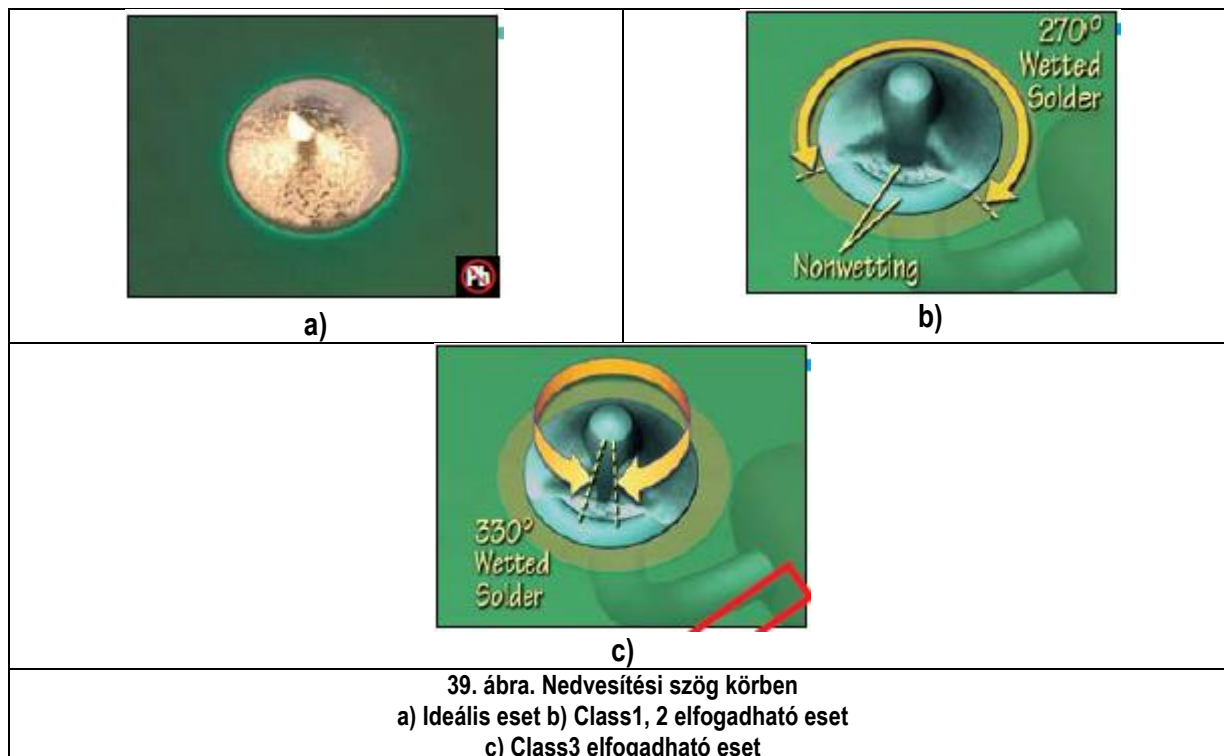
Az újraömlési folyamat során kialakult meniszkusz alakjának a forrasztási (kivezetési) oldalon nagyon szigorú szabályoknak kell megfelelnie. Mivel a meniszkusz alakja az alkatrész rögzítésében és az elektromos vezetési tulajdonságaiban is fontos szerepet játszik, ezért ezek vizsgálata elengedhetetlen. A meniszkusz alakjának vizsgálatánál három különböző esetet különböztetünk meg. Az első eset az ideális meniszkusz alak. Ekkor a kialakuló meniszkusz pad-hez kapcsolódási szögének kisebbnek kell lennie, mint 90° , tehát homorúnak kell lennie. Egy esetben elfogadható a 90° -nál nagyobb érintkezési szög és ez akkor lehetséges, ha nem a pad-ek rossz nedvesítése miatt gyülemlt fel több forraszfém. Ezt az esetet mind a három osztály elfogadja. Azonban ellenkező esetben, mikor a nem tökéletes kötés miatt nagyobb az érintkezési szög, mint 90° , akkor egyik osztály sem fogadja el a meniszkuszt. A nem elfogadható esetek közé tartozik az is, mikor már szabad szemmel lehet látni, hogy nem alakult ki teljesen a meniszkusz. Ezen esetekről a 38. ábrán láthatók magyarázó példák.



A 38. ábra a) képén látható forrasz érintési szöge homorú, ez az ideális meniszkusz alak. Míg a b) és c) képeken látható forrasz érintési szöge már nagyobb, mint 90° . A b) eset elfogadható, mert habár domború a meniszkusz, ugyanakkor a teljes pad-et befutotta a forrasz, míg a c) esetben nem, ezért az már nem elfogadható. A d) eseten látszik, hogy ki sem alakult rendesen a meniszkusz, így az sem elfogadható, mert rossz a kötés minősége.

8.2. Nedvesítési szög körben:

Ez a kritérium a kivezetési (forrasztási) oldalon a pad nedvesítését foglalja magába. Az az ideális eset, amikor a nedvesítés hatására az egész pad-en szétterül a forraszfém, vagyis azt 100%-ban befedi. Ezt az esetet az elfogadhatóság szempontjából két részre bontjuk. Az első eset, mikor a nedvesítési szög 270° , vagyis a forraszfém a pad-et csak 75%-ban fed be. Ezt az esetet a Class1 és Class2 osztályok fogadják el. A másik eset, mikor a nedvesítési szög 330° , vagyis a forraszfém a pad 90%-át befedi. Ezen esetet már a Class3-as osztály is elfogadja. Minden más esetet, vagyis ha a nedvesítési szög nem éri el a minimum 270° -ot, a forrasztás nem elfogadható. Ezen esetekről a 39. ábrán láthatók magyarázó példák.

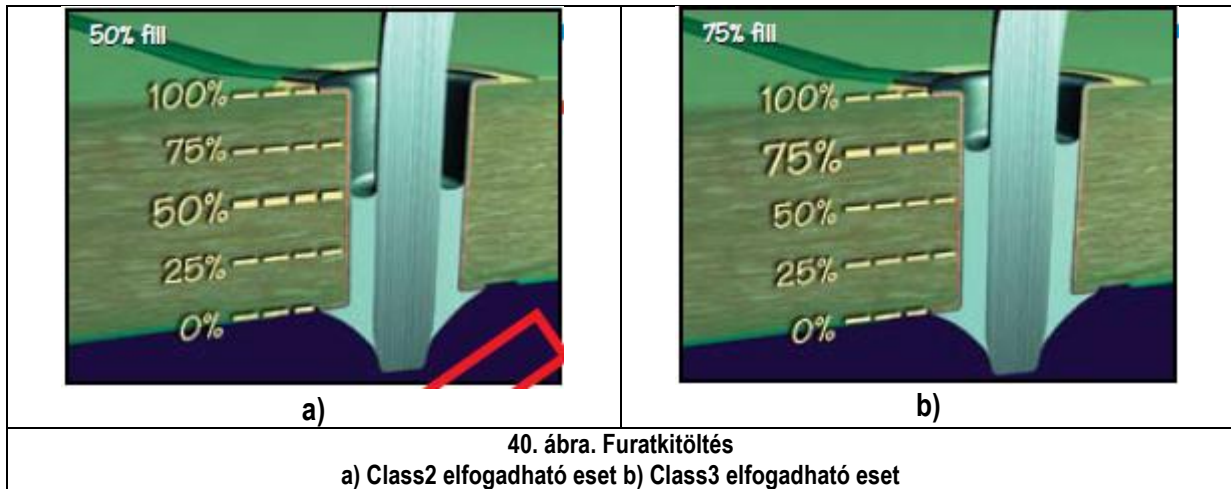


A 39. ábra a) képén látható az ideális nedvesítési szög. Ekkor 360°-ban nedvesítette a forrasz a pad-et, s teljes egészében be is futotta azt. A b) esetben látszik, hogy a nedvesítési szög, mindössze 270°, de ez csak abban az esetben elfogadható, ha emellett a forrasz legalább 75%-ban befutotta a pad-et. Ha ez nem teljesül, akkor nem megfelelő a kötés minősége. A c) esetben megköveteljük a legalább 330°-os nedvesítési szöget. Azonban önmagában ez sem elég, emellett itt is megköveteljük, hogy a forrasz legalább 90%-ban fussa be a pad-et.

8.3. Furatkitöltés

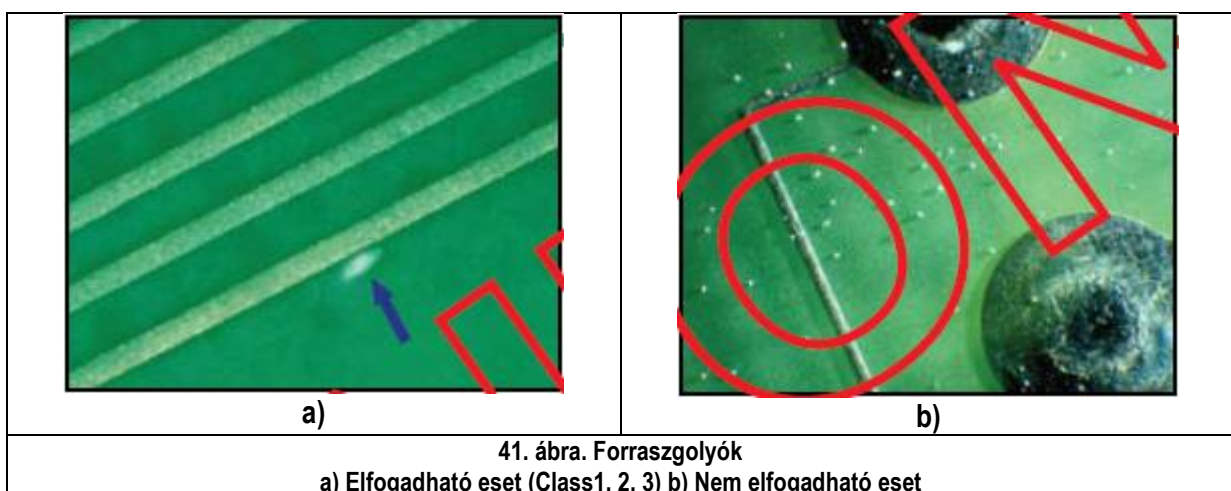
A furatkitöltés az egyik legfontosabb, így az egyik legkritikusabb vizsgálati jellemző a kritériumok közül. Ez a vizsgálati pont azért nagyon kritikus, mert mivel a furatok fala belülről fémezett így részt vesznek a vezetésben, ezen felül többrétegű nyomtatott áramkört lemezek esetén az egyes rétegek között a fémezett falú furat biztosíthatja a vezetést. Így ha a furatkitöltés nem megfelelő, lehetséges, hogy nem lesznek tökéletesek a beültetett alkatrész vezetési tulajdonságai, ezzel nem biztosítva az egyes rétegek közötti elektromos vezetést. Ebből adódóan a tökéletesnek tekintett furatkitöltés a 100%-os. Ezen kívül, akárcsak a nedvesítési szögnél, két részre bontható az elfogadható furatkitöltések csoportja. Az első eset, mikor a furatkitöltés mindössze 50%. Ezen esetet a Class2 fogadja el. Azonban a Class3 furatkitöltési kritériuma, hogy minimum 75%-os legyen. Emellett kritérium az is, hogy a forrasztási oldalon, a meniszkusz tökéletesen alakuljon ki, ennek hiányában a forrasztás automatikusan megbukik a vizsgálaton. Minden egyéb esetben a forrasztás megbukott az IPC szabvány tesztjén. Habár a furatkitöltés pontosan megszabott a vezetőképesség szempontjából, az az elfogadhatóbb eset, ha a forrasztási hiánya nem egy pontba koncentrálódik, hanem úgynevezett zárványok formájában „elszórta” van jelen. Így lehetséges, hogy a hiány nem fut végig az egész furaton, hanem egy-egy pontban van csak jelen, a teljes térfogatban szétoszlik, így biztosítva a jobb vezetést és kötetést. Class1

esetén a furatkitöltés nincs megkötvé, alkalmazási területtől függő, ez azonban nem jelenti azt, hogy nem kell szigorúan venni. Az egyes esetekről a 40. ábrán láthatók magyarázó képek.



8.4. Forraszgolyók

Az újraömlesztési folyamat során forraszgolyók alakulhatnak ki mind az alkatrész oldalon, mind a forrasztási oldalon. A forraszgolyók kialakulásának több oka is lehet. Egyik, hogy valamilyen okból kifolyólag az alkatrész valamely része nem engedi, hogy a megömlött forraszfém egésze a furatba jusson. Egy másik eset, mikor a túlnyomtatás következtében nem tud a megömlött forraszfém a furatba jutni. Ezekben az esetekben az IPC szabvány két esetet különböztet meg. Az egyik elfogadható az, amikor a forraszgolyók nem tudnak rövidzárt létrehozni az egyes alkatrészek kivezetései között. Ez olyankor lehetséges, mikor elég távol van minden más kontaktus felülettől. A másik lehetőség, hogy a forraszfém beleragadt a folyasztószer maradványba, így nem képes elmozdulni. A következő eshetőség az, amelyet egyik osztály sem fogad el, mikor a forrasz fém képes rövidzárat okozni. Ilyen eset tipikusan akkor jelentkezik, amikor a forraszgolyó például egy sűrű lábkiosztású IC két lába közé kerül be. Ebben az esetben nem csak az IC-t képest tönkretenni, de az egész áramkörti lemez is tönkremehet. A két esetről a 41. ábrán láthatók magyarázó képek.



8.5. Minőségvizsgálat és értékelés

A mérések leírásánál az egyes panel csoportok után levő kiértékelő táblázatban szereplő adatokat a fent említett IPC szabvány szerint értékeltem ki. Az eredmények osztályokba sorolásánál nagyon szigorúan jártam el. Amelyik panel egy kicsit is eltért az osztályban szereplő kritériumoktól, azt már egyel „rosszabb” osztályba soroltam. A mérési eredmények osztályba helyezése a 9. táblázatban található.

9. táblázat. Mérési eredmények IPC osztályokba sorolása

	Meniszkusz	Nedvesítési szög körben	Furatkitöltés	Forraszgolyók	Végző besorolás
HS01	Class1, 2, 3	Class2	Class3	Class1, 2, 3	„alsó” Class3
HS02	Class1, 2, 3	Class3	Class3	Class1, 2, 3	<u>Class3</u>
HS03	Class1, 2, 3	Class3	Class3	Class1, 2, 3	<u>Class3</u>
HS11	Class1, 2, 3	Class3	Class3	Class1, 2, 3	<u>Class3</u>
HS12	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
HS13	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NS01	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NS02	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	„felső” Class2
NS03	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	„felső” Class2
NS11	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NS12	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NS13	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
HT01	Class1, 2, 3	Class3	Class3	Class1, 2, 3	<u>Class3</u>
HT02	Class1, 2, 3	Class3	Class3	Class1, 2, 3	<u>Class3</u>
HT03	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	„alsó” Class3
HT11	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
HT12	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
HT13	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NT01	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NT02	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NT03	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NT11	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NT12	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2
NT13	Class1, 2, 3	Class3	Class2	Class1, 2, 3	Class2

Az „alsó” Class3 jelzés azt jelenti, hogy a panelen található furatok nagyobb része megfelel a Class3-as kritériumoknak, de az egész panel nem. Így a két osztály között van a panel.

Míg a „felső” Class2 jelzés azt jelenti, hogy a panelen található furatok többsége a Class3 határán vannak, de azt nem érik el, viszont a Class2-es kritériumokat erősen teljesítik.

9. Mérési eredmények összegzése

A stencilnyomatás után a forraszpasztta furatba történő benyomulása a kisebb furatátmérőjű NYHL-eknél (0,87 mm és 1,028 mm) egyáltalán nem, míg a nagyobb furatátmérőjű NYHL-eknél (1,136 mm) csak kismértékű forraszpasztta típustól (Senju, Type 3; Loctite, Type 4) való függést mutatott.

Azon teszt panelek, melyeknél hengeres tűkesort alkalmaztam az ideális furatátmérővel (0,87 mm), forraszpasztta típustól függetlenül a legjobb lett a furatkitöltés (HS01..03 és HT01..03). Azonban, mikor a nagyobb furatátmérővel (1,028 mm) rendelkező nyomtatott huzalozású lemezbe ültettem be a tűkesorokat, a furatkitöltés csökkent. (HS11..13 és HT11..13) Ezen esetek közül, amikor a Senju (Type 3) forraszpasztát alkalmaztam, jobb lett a furatkitöltés, mint a Loctite (Type 4) forraszpasztta alkalmazásával.

Amikor a szögletes tűkesort használtam a hozzá tartozó ideális furatátmérővel (1,136 mm) rendelkező nyomtatott huzalozású lemezzel, a furatkitöltés különböző lett a két típusú forraszpasztta alkalmazásával (NS01..03 és NT01..03). A furatkitöltés a Senju (Type 3) forraszpasztta alkalmazásával lett jobb. Míg a kisebb furatátmérővel (1,028 mm) rendelkezős nyomtatott huzalozású lemezek felhasználásánál a Loctite (Type 4) forraszpasztta alkalmazásával lett jobb a furatkitöltés. (NS11..13 és NT11..13)

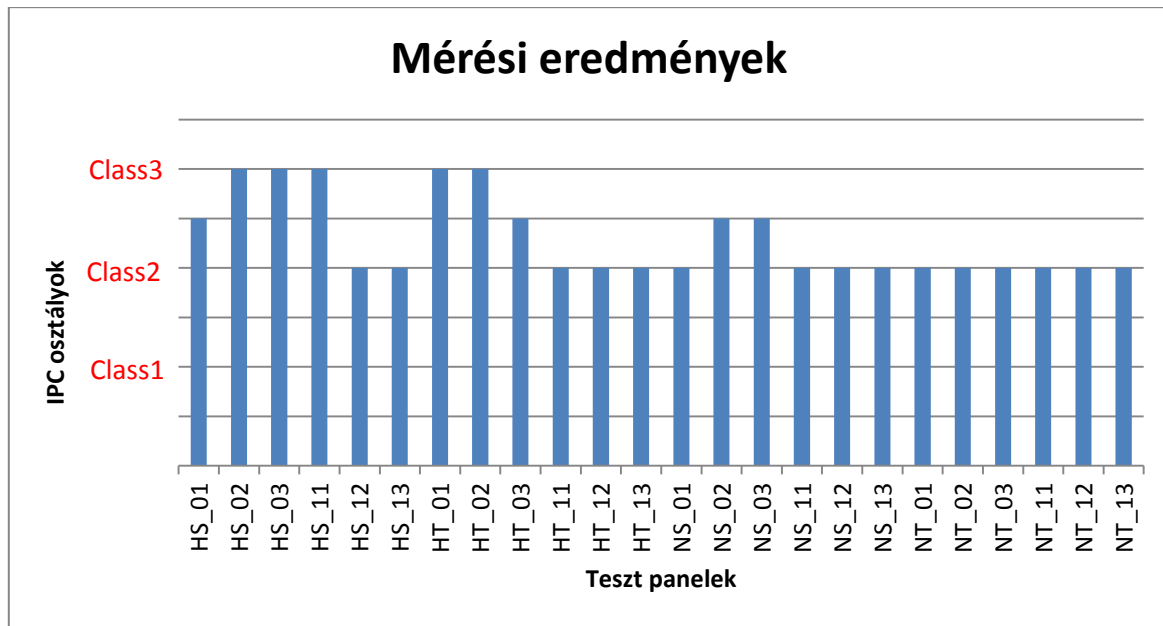
A stencil tervezésénél nem lehetett a szögletes tűkesorokhoz meghatározott ideális forraszpasztta mennyiségének megfelelő nagyságú apertúrát készíteni. A vizsgálatok során azonban azt állapítottam meg, hogy ez nem befolyásolta a furatkitöltést, csak a kialakult meniszkusz alakot. Mivel kevesebb volt a forraszfém, így ezen esetekben homorú meniszkusz alakult ki.

10. Összefoglalás

A kísérleteim célja az volt, hogy megvizsgáljam a szakirodalom által ajánlott furatátmérők IPC szabvány szerinti minőségét, hitelességét. A mérési eredmények összehasonlítása utána a következő megállapításokat tettem.

Minden esetben az irodalom által ajánlott furat átmérők bizonyultak a legmegfelelőbbnek, hengeres kivezető esetén 0,87 mm, szögletes kivezető esetén 1,136 mm. Azonban ezek közül is a hengeres tűkesor eredményei lettek a legjobbak. Ennek több oka is lehet. Az egyik ilyen ok, hogy az ideális mennyiségű forraszpasztta meghatározására szolgáló összefüggés hengeres kivezetőt feltételez. Habár a szögletes tűkesort átszámoltam hengeresnek megfelelőre, ez ettől függetlenül okozhatott hibát. Ezen kívül még a tűkesorok fémezése módosíthatta a nedvesítés mértékét, mivel az egyes fémötvözetek más és más mértékben nedvesíthetők. Azonban összességében minden teszt panel megfelelt legalább a Class2-es előírásoknak. Azonban a legszigorúbb, Class3-as osztálynak csak a hengeres tűkesorral beültetett panelek feleltek meg. Azok közül is az ideális furatátmérővel rendelkezők. Habár szögletes tűkesornál a furatkitöltés nem éri el a 75%-ot, ezt nem egy nagy zárvány okozza, hanem több kicsi. Ez a kevesebb, de nagyobb méretű zárványokhoz képest jobb mechanikai stabilitást és hővezető képességet enged meg.

A mérési eredmények szemléltetésére a 42. ábrán látható diagram szolgál. Ezen oszlopos megjelenítéssel látható az egyes panelek IPC osztályba való besorolása.



42. ábra. Mérési eredményeket összehasonlító diagram

Irodalomjegyzék

- [1] Steven J. Beckman, Rick Labbe and Suzette Cowan, „SMT Adhesives Evaluating the Material's Critical Parameters”, Lockheed Martin Commercial Electronics
- [2] Regős Péter, „Teljes Nitrogénalagutás Hullámforrasztó Gép a Középkategóriában”, Microsolder Kft, **XX. évfolyam I. szám** (<http://www.microsolder.hu>)
- [3] Alt Judit, „Nitrogén alkalmazása a forrasztásban”, AIR LIQUIDE Hungary Ipari Gépezelő Kft. (<http://www.airliquide.hu>)
- [4] „The Double Wave”, (http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0225_wave/)
- [5] R. Boyle, N. Poole & B. Toleno, “Tightening Up Type 4”, Henkel Corporation
- [6] Dr. Tóth Sándor, „Anyaggal záró kötések – 3.3.4 Forrasztott kötések segédlet”, BME Gép- és Terméktervezési Tanszék, (<http://gt3.bme.hu/oktatas/segedletek/Anyaggal/anykot4.pdf>)
- [7] A. Johnson, K. Fabian & B. Boyes, “Stencil Printing Basics”, Cookson Electronics, **2003**.
- [8] Pinkola János (szerk.), “Elektronikai Technológia Laboratórium”, Pin-In-Paste Technológia laboratóriumi gyakorlat sillabusz, BME-VIK, **2010**.
- [9] Beültető gép adatlap, “Versatility and innovative solutions”, TWS AUTOMATION, **2009**.
- [10] „Practical Tips for Implementing the Pin-in-Paste Process”, Electronics Assembly, Assemblymag.com , **2003. Február 1**.
(<http://www.assemblymag.com/articles/82841-electronics-assembly-practical-tips-for-implementing-the-pin-in-paste-process>)
- [11] IPC-7525, „Stencil Design Guidelines” , **2000. Május**
- [12] J. Perault, "Paste In Hole Printing", Application Note, Speedline Cookson, **1999**.
- [13] „A New Approach to Fluid Dispenser”, Nordson EFD, ICP Conference –Budapest, **2012. Március 20-23**.
- [14] „Nordson Optimum Systems”, Nordson EFD, **2012** (konferencia katalógus)
- [15] C. Zabel & U. Filor, „Secure Lead-Free Processes”, Vapour Phase Soldering Technology, ASSCON Systemtechnik-Elektronik GmbH, **2007**.
- [16] H. Leicht & A. Thumm, „Today's Vapor Phase Soldering An Optimized Reflow Technology for Lead Free Soldering”, Dipl.-Ing., IBL-Löttechnik GmbH, Germany, **2008**.
- [17] Janóczki Mihály, Radvánszki Zoltán, Jakab László, Krammer Olivér, „X-ray imaging in pin-in-paste technology”, *Ér periodica polytechnica*, **2008**
- [18] Forraszpaszta adatlap, „ECOSOLDER M705-GRN360-K1-V” , Senju Metal Industry Co. Ltd. (<http://www.senju.com/images/pdf/2011-M705-GRN360-K.pdf>)

- [19] Forraszpaszta adatlap, „*Loctite Multicore HF212 97SC (SAC305)*”, Henkel
(http://www.henkel.com/com/content_data/302820_LT6645_AE_SolderMaterialsBrochureFinalLR35996_2.pdf)
- [20] Forraszpaszta adatlap, „*Stannol SP318 (TSC84-3-400)*”, STANNOL GmbH,
(http://www.stannol.de/fileadmin/Service/Dokumente/Dokumente_TDB/P/TDB_LP_SP318_EN.pdf)
- [21] Solway Solexis honlapja
(http://www.solvayplastics.com/sites/solvayplastics/EN/specialty_polymers/Fluorinated_Fluids/Pages/GaIden_PFPE.aspx)
- [22] IPC-A-610 Rev. E, "*Through-Hole Solder Joint Evaluation*" (Demo Only Version), **2010**.

Ábrajegyzék

- [1] Wave Soldering, http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0225_wave/#6
Figure 9: Schematic of wave showing the three zones
- [2] The Double Wave, http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0225_wave/
Figure 8: The two pumps in a double-wave chip nozzle
- [3] Eutect, www.eutect.de
<http://www.eutect.de/services/selective-soldering-technique.html?L=1>
- [4] Cookson Electronics, <http://cooksonelectronics.cn>
Alpha Solder Paste, OM-338 No-Clean Soldering Paste
- [5] Screening and Stencil Printing, http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0222_print/
Figure 3: Stencil printing ('on contact' printing)
- [6] Amtest Associates Group, TWS Automation (Pick + Place)
<http://www.amtest.net/Default.aspx?sifraStranica=71>
- [7] Harsányi Gábor, „Elektronikai Technológia” 2012
Újraömlesztéses Forrasztás Hőprofilja – Ólmos / Ólommentes
- [8] Fisnar, FIS SL101 Digital Dispenser
<http://www.intertronics.co.uk>
- [9] Jánóczki Mihály, Jakab László, „X-ray solder alloy volume measurement (XSVM) in pin-in-paste technology (PIP)” 2010
http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/2190220104029.png