

Elektronikai gyártás és minőségbiztosítás

Gyártás részének kidolgozása

Készítette: Turóczy Viktor

Közreműködött:

Kiss Gergő,
Szaffner Dániel

2012/13 tavasz

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
I. Tétel: Áramköri hordozók – nyomtatott huzalozású lemezek mintázatkialakításának tervezési irányelvei	3
II. Tétel: Flexibilis nyomtatott huzalozások tervezési irányelvei és minősítési eljárásai.....	11
III. Mikrohuzal kötési technológiák.....	15
IV. tétel: Bumpok készítési technikái.....	21
V. tétel: BGA tokozású alkatrészek konstrukciója, 3D szereléstechológiák.....	25
VI. tétel: Stencilek tervezési irányelvei és a stencilnyomtatás folyamata	29
VII. tétel: Alkatrészbeültetés	35
VIII. tétel: Újraömllesztéses forrasztási technológia, szelektív hullámforrasztási technológiák	38
IX. tétel: Az elektronikai gyártás ellenőrző berendezései	44
X. tétel: Az elektronikai gyártás minősítő módszerei	47

I. Tétel: Áramköri hordozók – nyomtatott huzalozású lemezek mintázatkialakításának tervezési irányelvei

Elektronikai technológia különböző áramköri hordozókat használ, melyek lehetnek nyomtatott huzalozású lemez, üveg kerámia (LTCC), kerámia (HTCC), vagy vékonyréteg. Ezeknek tulajdonságait láthatjuk az 1. táblázatban.

1.táblázat: Áramköri hordozók alapanyagai

	NYHL	LTCC	HTCC	Vékonyréteg
Alap hordozó				Al ₂ O ₃ , AlN, BeO, Si, Cu, üveg/kerámia
Vezetőpályák anyaga	Cu	Au, Ag, PdAg, Cu	W, Mo	Au, Al, Cu
Dielektrikum	Epoxi/üveg Poliimid Bismaleimid-triazin-epoxy / üveg Cianid észter / üveg	Üveg/kerámia	Kerámia (Al ₂ O ₃)	Sio ₂ , poliimid
Felhasználási terület	Kereskedelmi célú áramkörök	Nagy teljesítményű áramkörök, autóelektronika	Aktív RC szűrők, katonai célú elektronikai	Nagy megbízhatóságú, nagy pontosságú ellenállás-hálózatok, A/D–D/A átalakítók

Az áramköri szerelőlemezeket több féle szempont alapján tudjuk jellemezni:

- Relatív permittivitás:

A permittivitás annak a mértéke, hogy egy közeg mennyire áll ellen a rá ható elektromos térrel szemben.

$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{l \cdot w}{d}$, ahol l a vezetőpálya hossza, w a vezetőpálya szélessége, d a hordozó vastagsága.

- Hőtágulási együttható:

Coefficient of Thermal Expansion (CTE).

Def. 1: A hőmérsékletváltozásra adott válasz. (térfogati, linearitási)

Def. 2: Hőközlés hatására létrejött alakváltozás, általában tágulás relatív mértékét a hőtágulási együttható fejezi ki

Def. 3: Hőátadás folyamán a molekulákban az atomok közötti kötésben tárolt energia változik. Ha a tárolt energia nő, az atomok távolsága szintén növekszik. Ennek eredményeképpen a szilárd testek általában tágulnak hőmérsékletnövelés hatására, hűtés következtében pedig összehúzódnak.

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right), [ppm/^{\circ}C]$$

$$\alpha = \frac{l-l_0}{l} \frac{1}{\Delta T}, \left[\frac{\mu m}{m} \cdot \frac{1}{^{\circ}C} \right]$$

- Vezetőpályák négyzetes ellenállása:

Ellenállások esetében a vastagság és fajlagos ellenállás azonos, ezért a hosszúság és szélesség különböző arányaival valósíthatók meg az ellenállásértékek.

$$R_{sq} [m\Omega]$$

- Hővezetési képesség: $[W/mK]$
Számértéke megadja az adott anyagból kihasított 1 méter élhosszúságú kocka két szemközti lapja között a másodperc alatt hőmennyiséget, ha a két lap között 1 K a hőmérsékletkülönbség.
- Üvegesedési hőmérséklet: T_g
- Ár
- Felbontás:
A legkisebb csíkszélesség (ez FR4-nél kb 50 μ m) és a legkisebb szigetelő vastagság két vezetópálya között határozza meg

Az üvegesedési hőmérséklet azt a hőmérsékletet jelenti, amely esetén az amorf szilárd testek, mint pl. az üvegek, polimerek anyagi tulajdonságai nagymértékben változnak. Ezek a tulajdonságok a rugalmasság, a térfogat, a Young-modulus és a százalékos megnyúlás mértéke törésig. A Young-modulus az adott anyag merevségéről nyújt információt: $\sigma = E \cdot \varepsilon$, ahol σ a mechanikai feszültség, ε a fajlagos megnyúlás, és E az arányossági tényező.

A jellemző tulajdonságokra jellemző értékeket tartalmaz a 2. táblázat.

2. táblázat: Áramköri szerelőlemez paraméterei:

	NYHL	LTCC	HTCC	Vékonyréteg
Vezetőpálya R_{sq} [m Ω]	0,15 – 3	3 – 20	8 – 12	3 – 35
Permittivitás ε_r	3 – 5	5 – 8	9 – 10	2,8 – 4
CTE [ppm/°C]	4 – 16	3 – 8	8	3 – 7,5
Hővezetés [W/mK]	0,1 – 0,4	1,5 – 2,5	16 – 30	0,15 – 1
Ár alacsony db számnál	Alacsony	Közepes	Magas	Nagyon magas
Ár magas db számnál	Nagyon alacsony	Közepesen alacsony	Közepesen magas	Nagyon magas

A nyomtatott huzalozású lemezek készítmény technológiája a következőkben ismertetettek szerint épül fel. A kiindulási alap egy alaplemez, amely réz fóliával van borítva. Első lépésben maszkolás, majd fotoreziszt felvitele történik. A fotoreziszt ablakaiba fém maszkot galvanizálnak (Sn, Sn/Pb...). A fotoreziszt előhívása után a rézréteget maratják, majd a fém maszk eltávolítása következik. A folyamat során a felületekre szelektív és nem szelektív bevonatokat készítenek az oxidmentesítés, és a forrasztási felület védelme érdekében.

Nem szelektív:

- A vezető pályákon is rajta van a bevonat
- Tipikusan ilyen az ón maszk
 - A narancsosodás figyelhető meg, mint hibajelenség, mely ólommentes forrasztásnál és ón maszknál lép fel, mert a Pb forrasztás 210 °C, az LF 240 – 250 °C fokon történik és az Ón olvadáspontja ~ 230 °C szélsőséges esetben akár a forrasztásgátló maszkot is „ledobhatja” (felrepedezik, feltörik, mivel a forrasztásgátló maszk alatt megömlik az ottmaradt ónmaszk).

Szelektív:

- HASL /Hot Air Solder Leveling/
 - forrasztba mártás és utána levegőkéses simítás

- más néven tüziön (LF-nél)
- jó védelmet nyújt akár több forrasztási ciklus után is
- felszíne egyenetlen -> bizonytalan forraszpasztta vastagság felvitelkor
- autóelektronikában használatos
- Immerziós Ón (ImSn)
 - kémiai technológia
 - vékony (0.2-0.5 μm), közepes védelem
 - autóelektronikában használatos
- Immerziós Ezüst (ImAg)
 - vékony (0.2 – 0.5 μm), közepes védelem
 - elektrokémiai migráció veszély
 - ilyen van a tanszéken
- ENIG
 - két rétegből áll, réteg technológia
 - Electroless (árammentes) Ni (5 – 7 μm) + Immerziós Au (0.05 – 0.1 μm)
 - Az arany réteget a Ni-hez kötjük hogy védjük az oxidációtól
 - drága, jó védelem és nedvesítés
 - Black Pad effektus
- OSP (passzívált réz)
 - szerves forraszthatóság védő bevonat
 - legrosszabb védelem, de olcsó

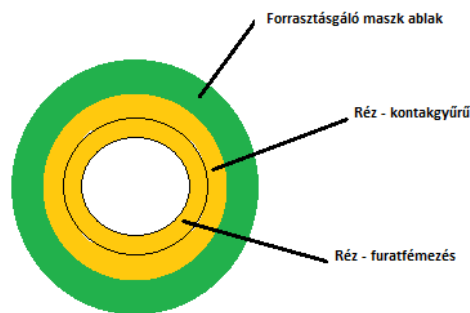
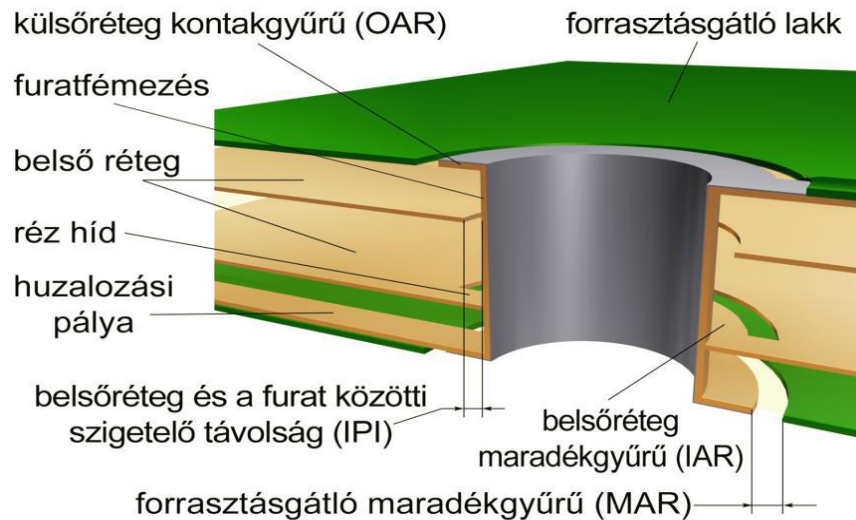
A lemez mintázatot különböző alapelvek figyelembevételével kell kialakítani, melyek a következők:

- Az alkatrész forrszemek, pad-ek, csatlakozó felületek a technológiának és alkatrésznek megfelelő raszterben tervezendők (hagyományosan 2,54; SMT 1,27, v kisebb)
- Furatszerelt alkatrészek egy oldalon, SMT mindkettőn elhelyezkedhet
- Fésűszerű táp- föld hozzárendelés, többretegűnél a belső rétegek táp-föld fólia kialakítása.
- Indokolatlan nagy, összefüggő felületek kerülendők (forrasztáskor hőelvonók)
- A huzalozás tervezésénél az éles sarkok, csúcsok kerülendők (kémiai maratásnál nem alakul ki megfelelően az alakzat ezért változik a vezeték ellenállása)

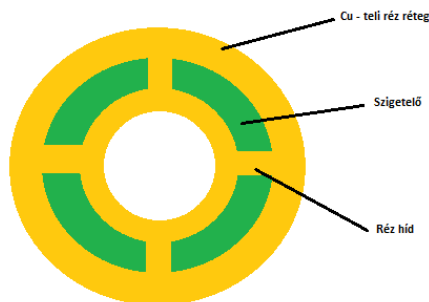
További elvek a szerelhetőre tervezés szempontjából:

- Csökkentsük az alkatrészek számát a funkciók integrálásával
- Ne temessünk el fontos alkatrészeket (IC-eket)
- Az alkatrészek közé tervezzünk elegendő távolságot, azért, hogy könnyen be lehessen ültetni (főként kézi szerelés esetén)
- A szerelést végző berendezések között szállítószalag továbbítja a hordozót, ezért ne tervezzünk alkatrészt túl közel a hordozó széléhez. (ált +1cm oldalanként)
- Két alkatrész rajzolatát ne tervezzük túl közel a rövidzár veszélye miatt
- A polaritással rendelkező alkatrészek lehetőleg azonos irányba álljanak
- A forraszpasztta felvitelére szolgáló stencilt úgy tervezzük, hogy a lehető legjobban megelőzze a forrasztási hibák kialakulását (forraszhíd, forraszgolyó-képződés)

A kontaktusfelületek méretezésének tervezése során figyelembe kell venni a belső rétegek szerkezetét, és a galvanizálás során létrejövő furatátmérő csökkenést is.



Top réteg



Belső réteg, a hidak a hőelvezetést, a gyűrűs struktúra a jobb mechanikai tulajdonságokat szolgálja

Ezek alapján néhány példa:

A furatátmérő a furatfémezés során csökken, ezért nagyobb fúrószerszám átmérőt kell alkalmaznunk. Nem fémezett furatnál a fúrósár átlagos excentricitása miatt használunk nagyobb fúrót.

- Fúrószerszám átmérő: (PHD)
 - fémezett furat: kész furat méret + 0,15 mm

- átvezetőknél: kész furat méret + 0,1 mm
- nem fémezett furatoknál: kész furat méret + 0,05 mm
- Forrszem mérete:
 - külsőréteg kontaktgyűrű: $0,5 * (\text{külsőréteg forrszem} - \text{PHD})$

[Megjegyzés: automatizált gyártásnál +0.5mm kézi gyártásnál +1mm a külső kontaktgyűrű minimális mérete]

- belsőréteg kontaktusgyűrű: $0,5 * (\text{belsőréteg forrszem} - \text{PHD})$
- Forrasztásgátló maszk maradékgyűrű:
 - $0,5 * (\text{forrasztásgátló maszk ablak} - \text{forrszem})$

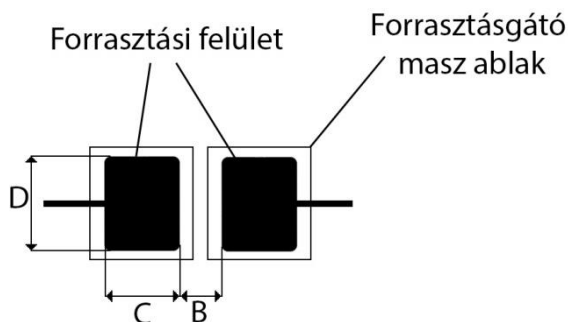
Korlátozó tényező a tervezés során a forrszemek közti távolság, a forrszem, vezető távolság. A belső réteg tervezés során a réz híd, illetve a belső réteg és a furat közötti távolság szab határokat.

A kontaktusfelületekhez csatlakozó vezetősávoknál fontos kritérium, hogy azoknak csatlakozniuk kell teljes szélességükben, és a legközelebbi elfordulás a vezetősávon legalább 0,1 mm-re legyen.

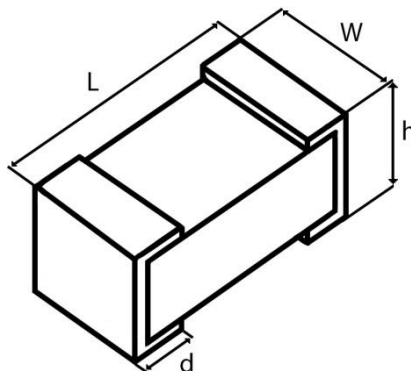
Tápréteg szigetelő távolsága a kártya élhez viszonyítva legalább 250 μm (10 mil) legyen! Kerülendő a be nem kötött réz felületek alkalmazása!

Hullámforrasztásnál (leggyakrabban QFP tokozásnál) forraszelszívó felületeket is be kell tervezni, mert a lamináris hullám ott hagyja a forraszt és rövidzár alakulhat ki. Alternatív megoldás ha az alkatrészt 45°-ban megdöntjük.

Chip méretű SM alkatrészek forrasztási felületeinek tervezése során, az ábrán bejelölt paraméteresek a leglényegesebbek.



A forrasztási felület mérete; D jelöli a forrasztási felület szélességét, C a forrasztási felület hosszát. B jelöli a forrasztási felületek távolságát. Ez a távolság a forrasztási felületek belső éleinek távolságát jelöli. Hozzájuk tartozó képletek felírásához egy általános felületszerelt alkatrész a következő ábrán, jelölve rajta a számunkra szükséges méretekkel. Ilyen az alkatrész szélessége (W), alkatrész hossza, (L), alkatrész alsó oldali fémezésének hossza (d), és az alkatrész magassága (h).



Ezen paraméterek segítségével már meg tudjuk adni a forrasztási felületek paramétereit, amelyek a következőképp alakulnak:

- $D = W + 100 \mu m$
- $C = d + h$
- $B = L - 2 \cdot d$.

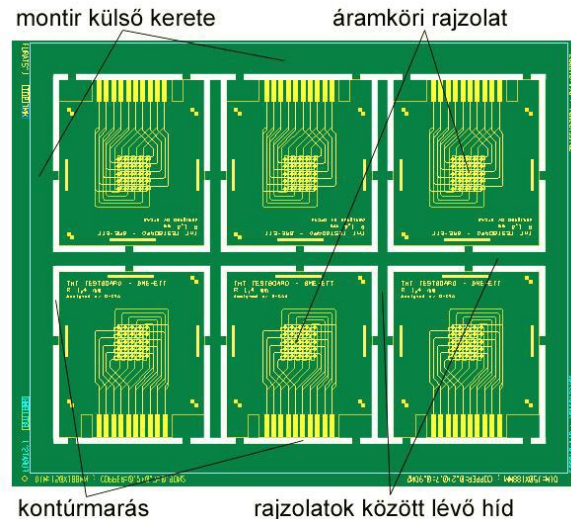
Ez 0603 méretkódú alkatrészre a következőképpen alakul: $L = 1,5 \text{ mm}$, $W = 0,8 \text{ mm}$, $h = 0,4 \text{ mm}$, $d = 0,3 \text{ mm}$. Ezek alapján a kontaktusfelület méretei: $D = 900 \mu m$, $C = 700 \mu m$, és $B = 900 \mu m$. Ehhez képes lényegesen eltérő paraméterek tervezése esetén ($\sim \pm 400 \mu m$) elősegíthetjük a forrasztási hibák kialakulását.

A kontaktus felületek tervezése során lényeges még a forrasztás gátló maszk ablakának mérete is. Erre egy standard, ha $\sim 300 \mu m$ -rel nagyobb ablakot nyitunk, mint a kontaktus felület mérete.

BGA tokozású alkatrészek forrasztási felületeinek, és azok kivezetéseinek tervezése során a kivezetések számát kell figyelembe venni. A bump-ok száma alapján meg kell határoznunk, hogy a kivezetések elrendezhetőek-e egy rétegen a bumpok között (1–2–3 vezeték), vagy esetlegesen fel kell használnunk egy másik réteget. Többretegű kivezetés tervezésnél figyelembe kell vennünk azt a hibaforrást, hogy a másik rétegre történő átvezetés során amennyiben a via nincs letakarva forrasztásgátló maszkkal, akkor az, forraszelszívó hatással rendelkezhet.

Az ezekkel az alapelvekkel, mintázati kialakításokkal felépített hordozó „külső” méretének meghatározása során jelentős mértékű befolyása van a gyártónak, mivel neki megvannak a maximális méretek, amit tud produkálni a gyártás során. Amennyiben az áramkör kisebb méretű, tömeggyártás során többet is egymás mellé helyeznek, ez a montír. A montír külső kerete általában 1 – 2 cm, míg az áramkörök között lévő híd általában 0,5 cm. Az ábrán egy montír áramkör szerepel, a táblázatban pedig a montír kialakításának a lehetőségei, és azok összehasonlításai.

Montír definíciója: ugyan abból a típusú áramköri lemezből több egymás mellett elhelyezve, a gyártás során egészen a forrasztásig egyként kezelik, ami után szétdarabolják (különböző technikákkal).



	Tartófülek	Riccelés	Forgókéses vágás	Kontúrmarás
Stabilitás	Rossz	Közepes	Jó	Jó
Mechanikai feszültség	Kicsi	Nagy	Közepes	Legjobb
Darabolás	Könnyű	Könnyű	Nehéz	Nehéz

A hordozó vastagsága széles skálán választható, általában 0,3 – 3 mm. Általános célú hordozó vastagsága 1,55 mm. A hordozó vastagságát befolyásolja a rétegek száma, 10 réteg esetén 1,55 mm, 16 réteg esetén 2 mm a minimális vastagság.

A lemezen még szükséges pozicionálást segítő ábrákat is tervezni, mivel ezek segítenek az esetleges torzulási hibákat detektálni az adott lemez esetében, illetve az alkatrész beültető automata is ezeket a pontokat használja a pontos beültetéshez, megadják az automatának a (0;0) pontot. A segédábrákat a rézrétegre kell tervezni, nem szabad őket forrasztásgátló lakkal lefedni. Két csoportra oszthatóak, a globális és lokális segédábrákra. Ezen két csoporton kívül a montír kereten is alkalmaznak segédábrákat.

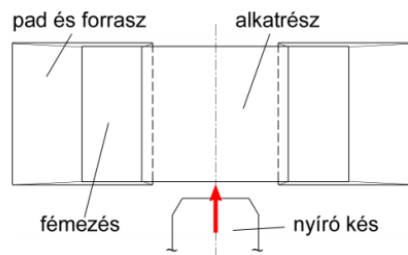
Lokális segédábrákat 0,63 mm-nél kisebb rászter-osztású IC-knél, kell alkalmazni. Legalább két segédábra kell a két átellenes sarokba, melyeknek átmérője 1 mm, toleranciájuk 25 μm . Forrasztásgátló maszk ablaka legalább az átmérő kétszerese, vagyis minimum 2 mm. A segédábra esetében hiba lehet, hogy a maradékgyűrű alatt a belső rétegekben lévő huzalozás megzavarhatja a pozicionálást, mert az is látható kamerával.

Globális segédábrákból legalább 3 darab ajánlott a hordozó legtávolabbi pontjain, mert így tudjuk a legjobban kikorrigálni az összes nemlineáris torzulást, ilyen az X–Y nyúlás, X–Y méreteltérés, csavarodás. Amennyiben az áramkör kétoldalas, akkor mindkét oldalra szükséges segédábra helyezése. Az ábrát a hordozó szélétől legalább 5 mm-re kell tervezni. Minimális átmérője 1 mm, toleranciája 25 μm , maximális átmérője 3 mm. A hozzá tervezett forrasztásgátló maradékgyűrű átmérője legalább a segédábra kétszerese, ajánlott a háromszorosa. A maradékgyűrű alatt a belső rétegekben lévő huzalozás megzavarhatja a pozicionálást, mert az is látható a kamerával.

A nyomtatott huzalozású lemezek készítése technológiájukat tekintve többféle lehet, szubtraktív, additív illetve féladditív. Szubtraktív technika esetén a kiindulás a rézfóliával takart szigetelőlemez, erre fotorezisztet visznek fel, fémmaszkot visznek fel, rézréteg maratása, maszk eltávolítása. Additív technika esetén a kiindulás a szigetelőlemez, fotorezisztet visznek fel, árammentesen rezet galvanizálnak, majd a fotoreziszt maszkot

eltávolítják. Szubtraktív technika előnye, hogy a rézrétegnek jobb a tapadása, additív technikának rosszabb a tapadása, viszont jobb rajzolatfinomság érhető el vele. A féladditív technológiánál ötvözzük a kettő hasznos tulajdonságát. Kiinduláskor két rézréteg a hordozóhoz laminálva, egy 5 μm -es és egy 70 μm -es. A vastagabb rézréteg célja a vékony réteg mechanikai védelme. A vastagabb rézréteg lefejtése után fotoreziszt maszkot viszünk fel. A vékony rétegen egy árammentes majd egy galvanizált rézréteget alakítunk ki. Ezután a hordozóról eltávolítjuk a maszkot, illetve differenciálmáratással, a nem hasznos (kezdeti 5 μm -es fóliából maradt) rézréteget.

A létrehozott kötések nyírási szilárdság mérésével tudjuk minősíteni a kötés szilárdságával. A mérés lényege, hogy a hosszanti oldalra merőleges erővel oldalról toljuk a felületszerelt alkatrészt, amíg abban valami kár nem keletkezik, vagy amíg elérjük a maximálisan kifejthető erőt. A mennyiben nem érjük el a maximálisan kifejthető erőt, a következő „károk” keletkezhetnek: pad felválás, és alkatrész törés létrejötte esetén a kötés erősséget nem tudjuk minősíteni, mivel ekkor a kötés nem rongálódott. Kötés törése esetén felhasználható a mérési eredmény ténylegesen a kötés minősítésére. Egy ilyen vizsgálat ábráját láthatjuk.



Forrasztásgátló maszk kialakításának kétféle típusa létezik, az NSMD és az SMD. A két technika közötti legfőbb különbség a forrasztásgátló maszk ablaka és a forrasztási felület méreteiben jelentkezik. Fontos megjegyezni, hogy még azok különböznek, a kialakuló, kilátszó forrasztási felületek mérete megegyezik.

NSMD

Non Solder Mask Defined

Nem a forrasztásgátló határozza meg a forrasztási felület méretét

Kisebb a forrasztási felület tapadása a hordozón

Kisebb a forrasztott kötésekben kialakuló mechanikai feszültség

Előny: Nem válik fel a pad

Hátrány: Főleg BGA-hoz használható, nő a mechanikai feszültség

SMD

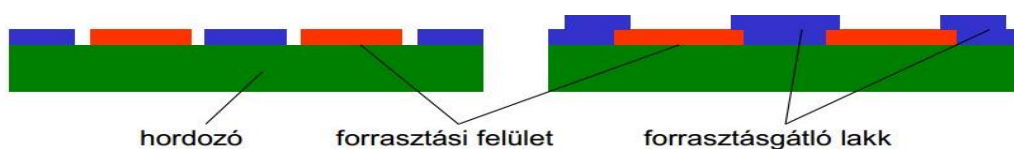
Solder Mask Defined

A forrasztásgátló határozza meg a forrasztási felület méretét

Nagyobb a forrasztási felület tapadása a hordozóhoz

Nagyobb a forrasztott kötésben kialakuló mechanikai feszültség

Hátrány: Hídképződés



II. Tétel: Flexibilis nyomtatott huzalozások tervezési irányelvei és minősítési eljárásai

Hajlékony hordozónak négy típusa van, a PET, a PEN, melyeken ragasztóval vihetők fel az alkatrészek, a harmadik a poliimid, és végül az epoxi, melyeket $\sim 240^\circ\text{C}$ -ig lehet forrasztani. Ezekre a szigetelő hordozókra kerül a vázanyag nélküli műanyag fólia, melyek lehetnek poliészter (mylar), poliimid (kapton), PTFE (teflon). Ezeket a fóliákat két féle módon alakítják ki, első esetben műanyag fóliára réz (Cu) fóliát ragasztanak vagy visznek fel, második mód, hogy már a rézfólia felületén állítják elő a műanyag réteget.

Hajlékony hordozós áramköröket alkalmaznak mozgó szerelvények összekapcsolására hajlékonyságuk miatt, rezgésálló berendezésekben kis tömegük miatt, és 3D-s szerelvények összekapcsolására, illetve ahol kis hely van pl. digitális fényképezők.

Flexibilis áramkörök típusai: Egyoldalas (single-sided), Hátoldalas (back-sided, back-bared), Változó vezetővastagságú (Sculptured), Kétoldalas (double-sided), Többrétegű (multilayer), Merev-flexibilis (rigid-flex)

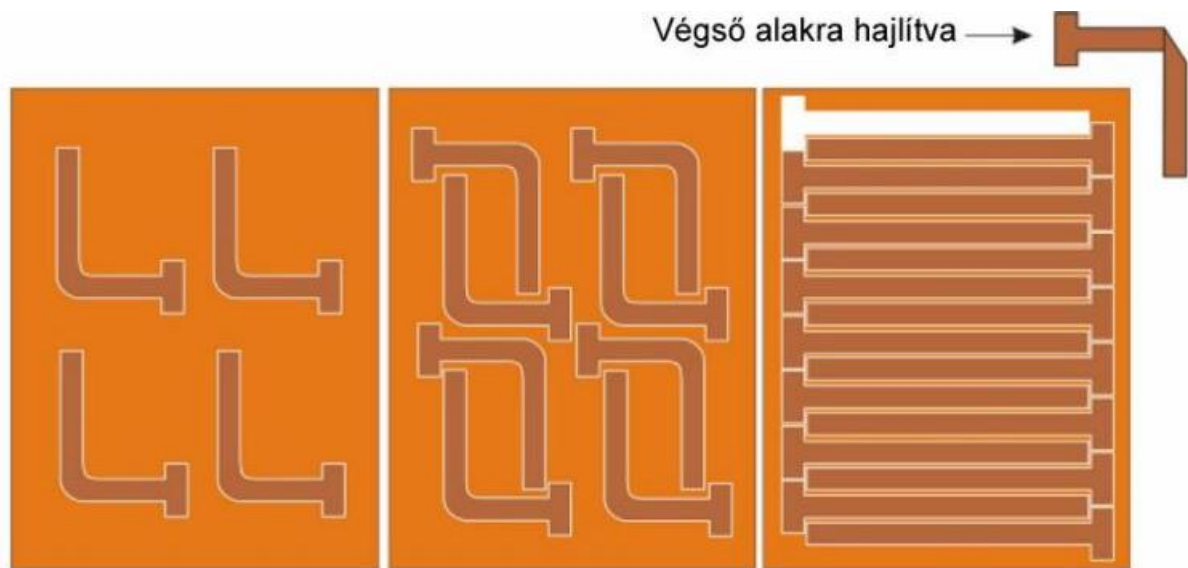
Kialakításuk szerint a hajlékony hordozós áramkörök lehetnek 1 oldalas ragasztó nélküli laminátum, 1 oldalas laminátum, vagy kétoldalas laminátum. Ezekhez a struktúrákhoz használhatnak különböző rétegeket, mint a ragasztó pl.: poliészter, akril, epoxi (nyomásra keményedő ragasztó), szintén belső réteg még a rétegillesztő (bondply), fedőréteget laminálással, fotolitográfiával tudunk kialakítani. Ezeket láthatjuk a következő ábrán.



Hajlékony hordozós áramkörök esetén jelentős feladat megoldani a huzalozás védelmet, mivel amellet, hogy a tényleges védelmet megvalósítjuk, a kialakítható rétegek vastagságában is korlátokba ütközünk, mivel ha nem egyforma a vezető réz réteg alatt és

felett a vastagság, az elcsúszik a neutrális szálból, és elcsúszik a ráható erő eredője is, a mechanikai feszültség nem lesz 0 a szálban, tehát könnyebben sérül, törik a vezető réteg. Védő réteget több féleképpen tudunk felvinni a hordozóra. Fedőbevonatot vihetünk fel szitanyomtatással, fedőfilmet tudunk kialakítani laminálással, és litográfiával, forrasztásgátló maszkot alakíthatunk ki (függönyöntés / fotolitográfia anyaga megegyezik a merev áramköröknél megismert anyaggal), vagy fedőréteget alakíthatunk ki fúrással, vagy lyukasztással. Védelmet nyújthat a mechanikai behatolások ellen továbbá a változó húzal szélesség és vastagság.

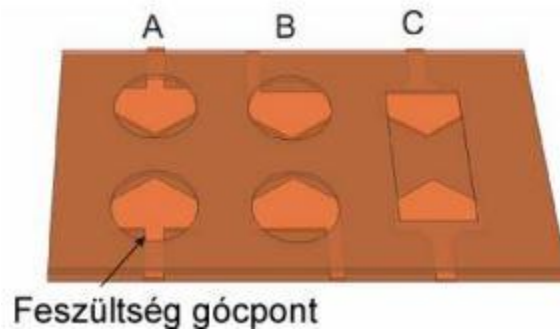
Egy hajlékony hordozós áramkör tervezése során figyelembe kell venni, hogy a tervezése kevésbé stabil, több „nyúlványa” lehet, ezért több referencia jelet kell alkalmaznunk, illetve nagyobb tűrések használata javasolt (minden egyes kiálló ágra kell tenni egy referencia jelet). A tervezés során, amennyiben nem találunk vele ütköző másik szabályt, akkor rézkitöltést alkalmazhatunk. Ezzel növelni tudjuk az áramkör méretstabilitását. Tervezési folyamatok során érdemes figyelembe venni, hogy a merev hordozóknál drágábbak a flexibilis hordozók, ezért célszerű több áramkört felvinni egymás mellé a fóliára. Erre egy példát mutat a következő ábra, ahol a flexibilitását kihasználva, „kiegyenesítve” hozzák létre az áramkört, majd végső lakjára hajlítják azt.



Tervezésnél még fontos szerepet játszik a huzalozás megtervezése is. Itt is több szempontot kell figyelembe venni. Jelentős a huzalozások irányváltása esetén, hogy annak szöge legyen kisebb, mint 90° , de törekedni kell arra, hogy minél jobban le legyenek kerekítve, mivel nagyfrekvenciás alkalmazások esetén a lekerekített sarkokban kisebb a reflexió. Éles sarkok esetében hátrány még, hogy a maratószer bent maradhat, ezzel csökkentve a vezeték keresztmetszetét. Több rétegű huzalozás esetén az egymás felett húzódó vezetőket kerülni kell a hajlítási-hajlítási területeknél.

Forrasztási felületek tervezésénél ügyelni kell azok kialakítására. A lekerekített forrasztási felületek szétosztják a feszültséget, nem lekerekített esetben a csatlakozási ponton, a sarok miatt potenciális feszültség gócpont alakul ki. Furatszerelt alkatrészek esetében a forrasztási felület átmérőjét a furat átmérőjéhez képest 2–2,5x nagyobbra tervezni, különösen lényeges ez egyoldalas áramkörök tervezése esetén. Tervezéskor érdemes ún. „könnyecsepp formára”

törekedni. A következő képen 3 féle kialakítást látunk forrasztási felületekre, ezek közül a C ajánlott, a lekerekített, nem éles sarokkal.



Flexibilis áramkörök esetén még fontos tényező, hogy a folyamatos igénybevétel esetén is, a sokszori hajlítást állja a hordozó. A sokszori hajlítás hatására kialakuló szakadások főként a sarkoknál alakulhatnak, ki ezért ott alakítunk ki megoldásokat ennek elkerülése végett. Ezek a megoldások a következők:

	1. Lekerekített sarok 2. beágyazott üvegszövés 3. bemetszés a sarkoknál 4. furatok a feszültségpontokban 5. sarokba fúrt furatok 6. beágyazott aramid szál 7. hozzáadott réz a sarkokban
--	--

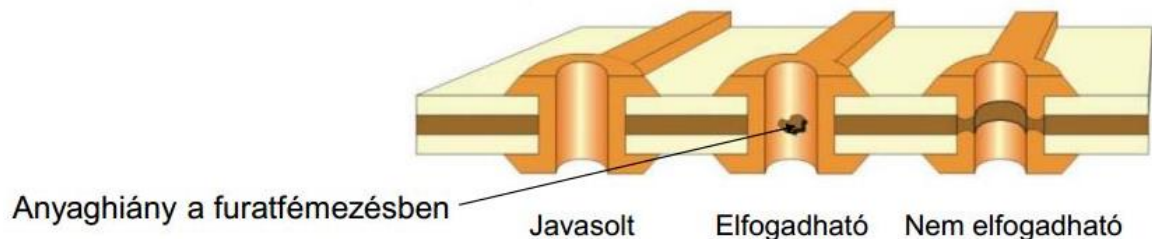
Flexibilis áramkörök hajlítása esetén lényeges, hogy a rézréteg a neutrális szálon (ezen a szál mentén lesz a ráható eredő erő 0) legyen, hogy kevésbé sérüljön, mivel csökkenti a feszültséget benne. Hajlítás közben megkülönböztetünk húzott és nyomott oldalt.

Az áramkör hajlításának több módja is létezik, ezeknél leglényegesebb a minimális hajlítási sugár, mely függ a kialakított áramkör rétegszerkezetétől. Ezekről összefoglaló táblázat:

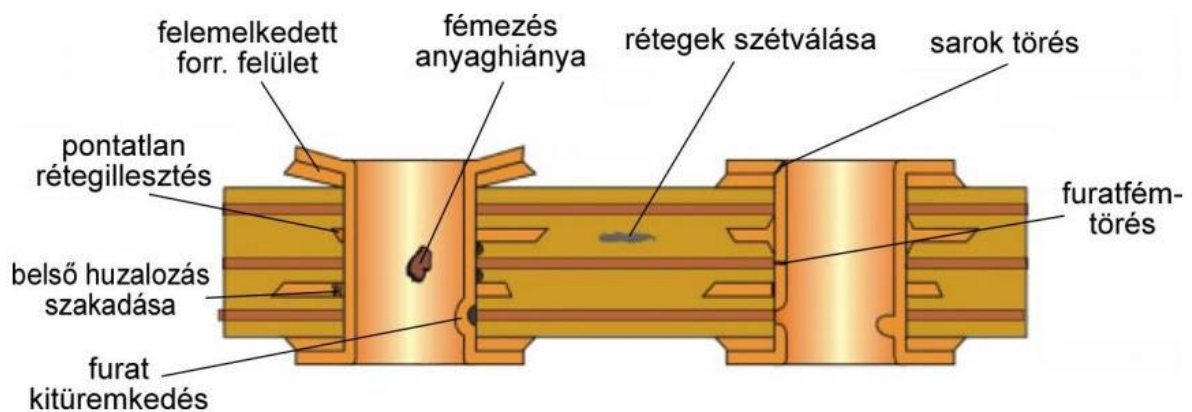
Flexibilis huzalozás típusa	Minimális hajlítási sugár
Egyoldalas huzalozás	3–6x az áramköri hordozó vastagsága
Kétoldalú huzalozás	6–10x az ák.-i hordozó vastagsága
Többrétegű huzalozás	10–15x az ák.-i hordozó vastagsága
Dinamikus alkalmazás (egyoldalason ajánlott)	20–40x az ák.-i hordozó vastagsága

A könnyebb, jobb hajlítás érdekében főleg dinamikus felhasználások esetén, szokás V alakú vágatokat lézerrel kialakítani szigetelő rétegben, ezzel javítva a hajlítást, mivel a vágatok miatt kisebb a feszültség, ezáltal hosszabb az élettartam.

A flexibilis hordozók készítési és szerelési lépések közben kialakuló jellemző hibajelenségei a következők: A fedőréteg illesztése közben létrejövő pontatlanságnál a pontosságra vannak megadva osztályok, melyek mind fémezett, mind fémezés nélküli furatra definiálva vannak. Delamináció, ami a rétegek közti rétegelválást jelent, ezt akusztikus mikroszkóppal detektálhatjuk, de ez nem számít roncsolásmentes vizsgálatnak a készre szerelt áramkörben. Jellemző hibajelenség még, mikor nedvesítés közben a forrasz a fedőréteg alá kúszik. A furatfémezésbe megfigyelhető anyagihiány is jellemző hibajelenség flexibilis áramkörök esetében. Ennek detektálásához röntgensugaras vizsgálatokat használhatunk. Ezek esetében az elfogadható és el nem fogadható hiányokat a következő ábra mutatja. Ezeket a hibákat röntgen sugaras vizsgálattal ellenőrzik



A hibák detektálása érdekében hőterheléses gyorsított élettartam vizsgálatokat lehet elvégezni. A vizsgálat lényege, hogy a hordozót 289 °C-os forraszba mártják 10 másodpercre és azután megvizsgálják. Ekkor kialakuló hibák a következő képen vannak feltüntetve:



Flexibilis hordozók esetében szokás néha valamilyen stabilitást javító merevítőt alkalmazni. Ennek kialakítási módja, mikor a flexibilis hordozót a merevítőre hajtják. és ez által az elveszi annak hatását, és stabilan áll.

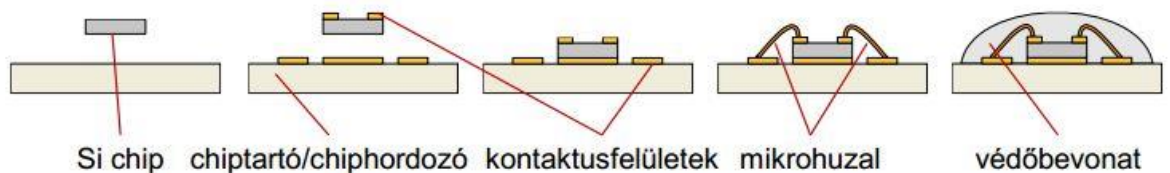
Szerelési eljárásokat tekintve flexibilis áramkörök esetében hullámforrasztást, huzalkötést, alkatrész beültetést és újraömllesztéses forrasztást használhatunk.

III. Mikrohuzal kötési technológiák

Si chip kivezetésének megvalósítására 1. szintű összeköttetési rendszereket alkalmazunk. A felsorolás a technológia fejlődésének sorrendjében van.

- Chip+huzalkötés (Chip-and-wire)

Chip+huzalkötés (Chip-and-wire)

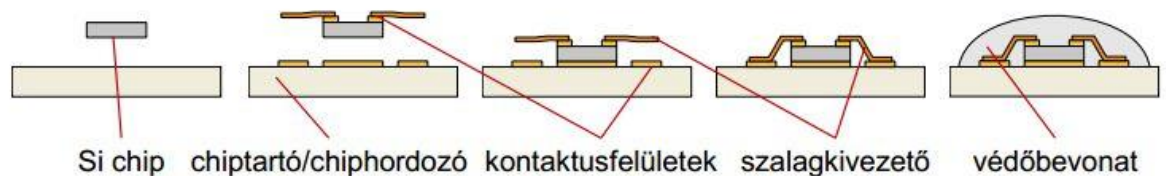


A mechanikai rögzítés illetve a villamos bekötés elkülönül.

10 kötés/s , max 250 kivezetésig érdemes ezt a technológiát alkalmazni

- TAB (Tape Automated Bonding)

TAB (Tape Automated Bonding)

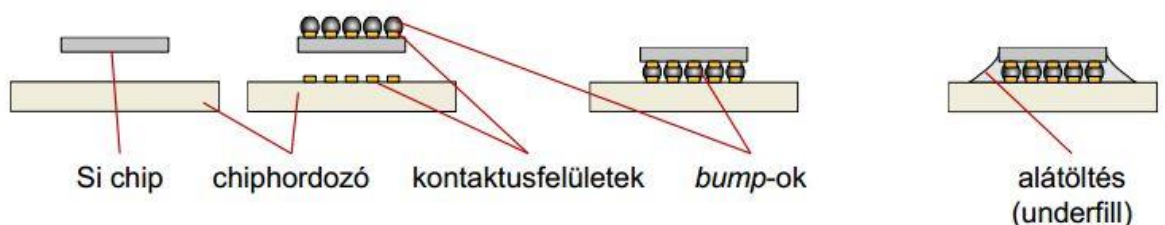


A technológia előnye hogy automatizált, amit gyorsabb eljárást tesz lehetővé (ez nagy huzalszámnál fontos)

Ezen két rendszer esetén a lépések: chip és hordozó, kontaktusfelületek kialakítása, beültetés és chiprögzítés, elektromos kontaktálás, védőbevonat felvitele. A mechanikai rögzítés illetve a villamos bekötés elkülönül.

- Flip-chip

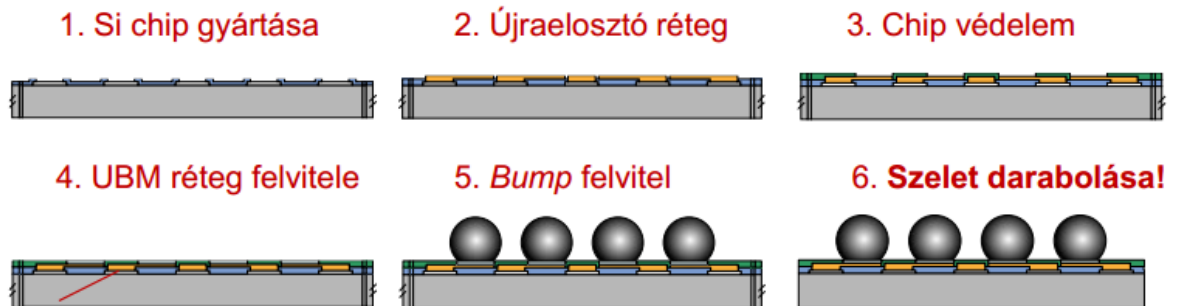
Flip-chip



Más néven μ bump, az aktív felülettel lefelé, mechanikai és villamos bekötés egyszerre, ~40 s ciklusidő tehát mindegy hogy 2 vagy 1600 kivezetésnél alkalmazzuk

- Szelet szintű tokozás (WLP–Wafer Level Package)

Szeletszintű tokozás (WLP)



Majdnem a teljes technológiai folyamatot szelet szinten végezzük, már szelet szinten kialakítjuk az újraelosztó réteget (interposer). Fontos tulajdonsága hogy kompatibilis az újraömllesztéses technológiával.

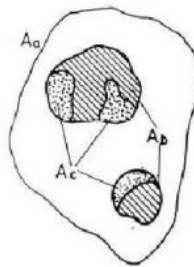
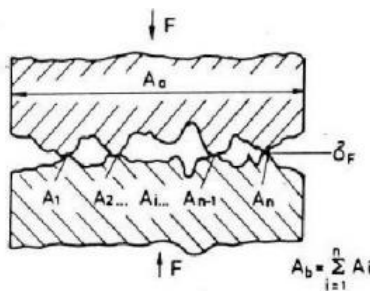
A mikrohuzal kötési technológiák kialakításának több fajtája lehet.

A Termokompressziós kötés esetben arany (Au) huzalt használunk (~50 – 100 μm), és emelt hőmérsékleten (300–500 $^{\circ}\text{C}$) alakítjuk ki a két kötést, melyek közül az első kötés golyós, míg a második ékes (letűző) kötés. A technika során a kapillárison átvezetett huzal végét ívkisüléssel op. fölé melegítjük, majd a MÁR MEGSZILÁRDULT GOLYÓT nyomjuk a felülethez, és a nyomás hatására kialakul a kötés, a huzalt a második bekötési pont fölé visszük, lenyomjuk, majd elvágjuk. Ennél a megoldásnál tehát hőt és nyomást használunk, a technológia alig használt manapság.

Ultrahangos kötés esetében alumínium (Al), vagy arany (Au) huzalt használunk (125–300 μm), majd szobahőmérsékleten alakítjuk ki mindkét felületen az ékes kötést. A technika során a kötőszerszámba befűzött huzalt a felülethez nyomjuk, majd ultrahanggal horizontális vibrációnak tesszük ki, ami hatására létrejön a kötés, a kötőszerszámot a másik kontaktusfelület felé mozgatjuk, az előző módon ott is létrehozunk a kötést a lenyomás után, majd elvágjuk a vezetéket. A kötés létrehozása során az ultrahang feladata, az oxidréteg feltörése, valamint a tiszta felületek atomi közelségű kontaktusba hozatala. Ezt általában teljesítmény elektronikában használják.

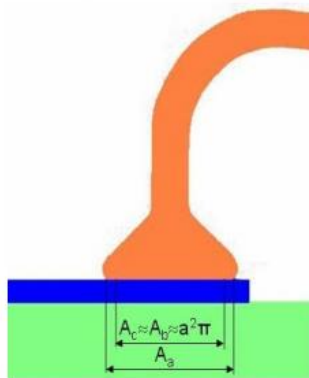
A termoszonikus kötés esetében arany (Au) huzalt (25–50 μm) használunk, majd a termokompressziósnál alkalmazott hőmérsékletnél alacsonyabb hőmérsékleten (100–150 $^{\circ}\text{C}$) hozzuk létre először a golyós kötést, majd az ékes kötést. A kötés létrehozásának lényege, hogy ötvözi az előző kettőt, vagyis emelt hőmérsékleten, ultrahangos rezgetés segítségével alakítják ki a kötést, ezáltal javítva annak tulajdonságait. Itt a fontos fizikai jelenségek amelyeket használunk a hő+nyomás+rezgés. Általában Logikai áramköröknél.

A kialakult, érintkezés jellegű kötések modelljét tekintve a következő:



Jelölések:

- F erő
- A_a Látszólagos érintkezési felület
- A_b Nyomóerőt hordozó felület
- A_c fémesen érintkező felület
- H_M Meyer–keménység
- σ_f folyási határszilárdság
- a az érintkező felületek sugara
- R_c az érintkezési ellenállás
- R_1, R_2, R_c az egyes vezetők érintkezési ellenállása



Összefüggések:

$$A_c \leq A_b \leq A_a$$

Képlékeny alakváltozásnál:

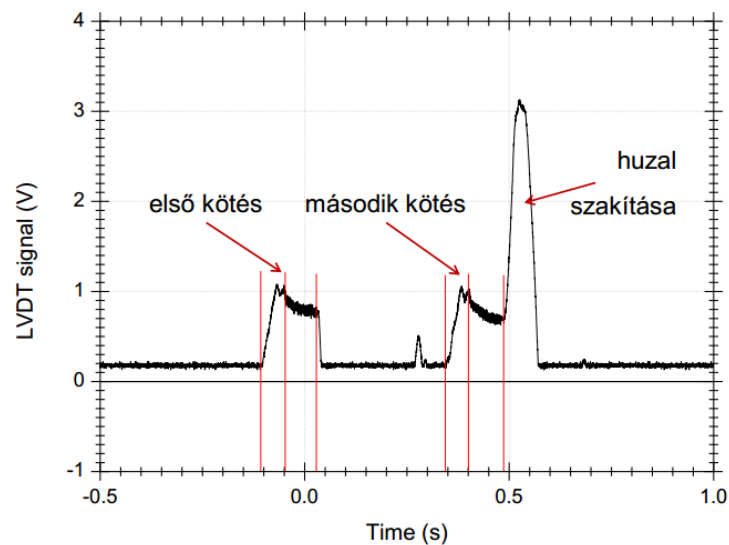
$$A_b \approx F/H_M \approx F/\sigma_f, \text{ mert } H_M \approx \sigma_f$$

Ultrahangos kötés kialakítása során a második kötés kialakítása után a huzal elszakítási mechanizmusa a következő. A huzal lenyomása, és a kötés létrehozása után bevágást készítünk a huzalba, ahol majd el fog szakadni a huzal, majd a következő kötés létrehozásához engedünk ki egy rövidebb huzalhosszt, ami során felemeljük a szerszámot. A szerszám leeresztése után a kötőfej mozgásával szakítjuk el a huzalt.

A huzal elszakításához kétféle vágókést alkalmazhatunk, a hátul vágót, illetve az elől vágót. Az elől vágó esetén a fejen kívül van a vágó, a hátul vágó esetén az ék és a huzaltartó között. A kialakításnak köszönhetően, ha a kötési felület mellett magasabb dolog van, a hátul vágóval közelebbi kötetést tudunk létrehozni. A hátul vágó eszköz bonyolultabb és drágább, de bizonyos alkalmazásoknál, ahol kritikus a technológiai távolság, elengedhetetlen a használata (ITCU – LTCC).

Az ultrahangos kötés folyamatparaméterei a kötési erő ($n \cdot 1 \text{ N}$), a rezgetés amplitúdója ($n \cdot 1 \mu\text{m}$), az ultrahang rezgetés hossza (csökkentik a ciklusidő csökkentése miatt, amíg még tapad: $\sim 50\text{--}100 \mu\text{s}$), Rezgetés frekvenciája ($\sim 120 \text{ kHz}$), és a kötőfej fékezési úthossza. A folyamat során csak a széleken alakul ki kötés.

Az ultrahangos kötés esetén monitorozással tudjuk ellenőrizni a kialakult kötés erősségét, a kötés létrehozása közben. A monitorozás egy a kötőfejhez csatlakozó paralelogramma alakú szenzorral történik, ami deformációjával méri az odanyomás erejét. (A szenzor alakváltozás hatására feszültségváltozás jön létre pl.: összenyomás hatására nő a feszültség).



Az ultrahangos kötés jellemző hibája a kráterképződés kialakulása a kontaktusfelületen. A huzalkötés után a kötött réteg kialakul a kötés körvonala mentén, de a középső térsen egy kráter alakul ki. A kontaktusfelület nem válik fel feltétlenül, ennek ellenőrzésére használják a hot-spot tesztet. A hiba kialakulásának oka a túlzott UH teljesítmény/kötőerő vagy a nem megfelelő kontaktusfelület fémezés. A legnagyobb problémája, hogy AOI-val nem, csak elektronmikroszkóppal detektálható.

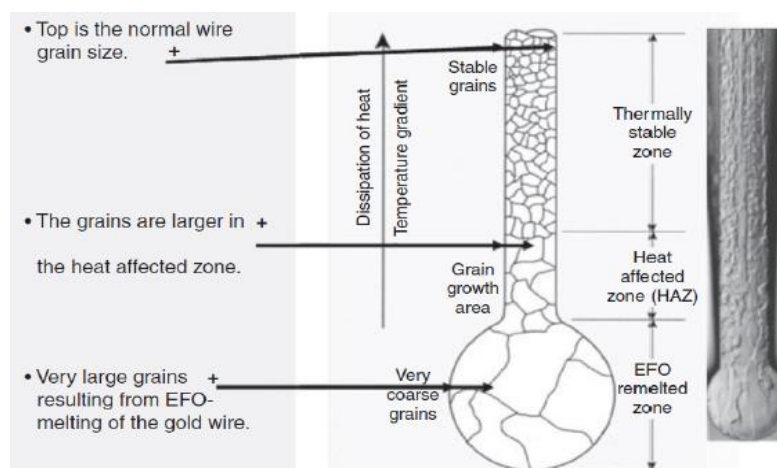
A szalaghuzal kötési technológiákat főként mikrohullámú alkalmazásokban használják a kedvező nagyfrekvenciás tulajdonságok miatt, de nagyteljesítményű elektronikában is lehetséges. A kötés kialakítása szintén ultrahangos. A szalagkötés hátránya, hogy szélesség/vastagság arányoknál a kötőszerszám és a hordozó párhuzamossága kritikus.

A termoszonikus kötés folyamatparaméterei a kötési erő ($n \cdot 100$ mN), ultrahang rezgetés amplitúdója (kisebb mint UH-nál, $n \cdot 0,1$ μ m), ultrahang rezgetés hossza (csökkentik, még tapad ~ 10 ms), rezgetés frekvenciája (~ 10 kHz), hordozó hőmérséklete (~ 120 °C). A kötés az UH technológiával szemben, a teljes felületen kialakul.

	Ultrahangos	Termoszonikus
Kötési erő	$n \cdot 1$ N	$n \cdot 100$ mN
Rezgésamplitúdó	$n \cdot 1$ m	$n \cdot 0,1$ m
UH rezgetés hossza	50-100 ms	10 ms
Rezgőfej frekvenciája	120 kHz	10 kHz
Hordozó hőmérséklet	-	120 °C
Kötőfej fékezési úthossza		-
Jellemző hiba	kráterképződés	kötésfelválás

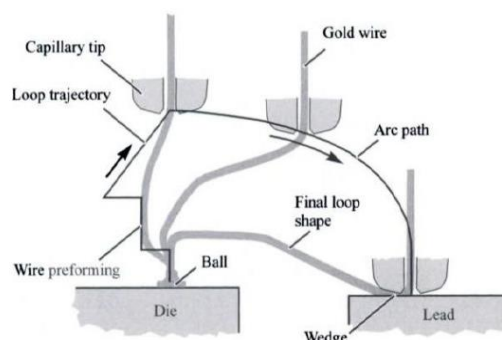
A termoszonikus huzalkötési technika jellemző hibája a kötésfelválás a kontaktusfelülettől, más néven „Black Pad”. Az ENIG (elektromos nikkel/immerziós arany) kontaktusfelület bevonatok esetén áll fenn a veszélye a Black Pad effektusnak, ami gyakorlatilag a Ni réteg korróziója. Jellemzően termoszonikus technológiánál és forrasztásnál jelenik meg. Ni-felvitelnél a megfelelő pH beállításához foszfort (P) használnak, ennek a foszfor mennyiségnek a helytelen beállítása a Ni-réteg korróziójához vezet, ami szemcseméret növekedést és ezáltal rossz immerziót eredményez. A hiba első jele, hogy a kötés nem tapad a kontaktusfelülethez.

A termoszonikus kötéseknek folyamán létrehozott golyós kötés fontos része a hő által befolyásolt zóna (HAZ). Ez a zóna a huzal azon része amelyen a hőváltozás miatt rekristallizáció történik és megváltozik a fémben a szemcseméret. Ez a méretváltozás a golyótól kiindulva felfele egyre kisebb(ún. 'bamboo' structure - jellemzően nagyobb szemcsemérettel mint a huzal átmérője). Ennek a zónának a hossza befolyásolja a kötés minőségét, tulajdonképpen ez a huzal gyenge pontja, ügyelni kell rá hogy a huzalkötés hurokrésze ne ezen területre essen (különbözős anyagok szennyezésével, ún. dópólással csökkenthető a hossza, de nem szabad túlzásba vinni, mert akkor zárványok alakulhatnak ki).



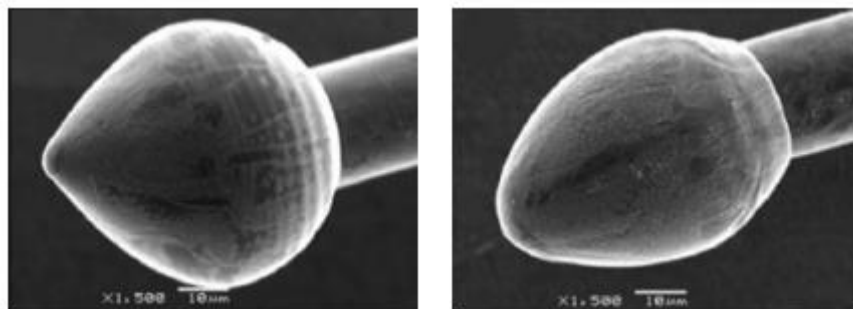
A termoszonikus huzalkötések hurokprofiljait két csoportba oszthatjuk. Ezek a normál, és az alacsony huzalkötés. A normális profil esetén a magasság jellemzően 150 μm -es, felhasználását tekintve általános. Az alacsony hurokprofil esetén a jellemző magasság $\sim 40 \mu\text{m}$, alkalmazni a 3D-s szerelésteknológiáknál szokták (stacked IC – token belül, package-on-package – token kívül), arrea array elv esetén is (ekkor a kontaktusfelületek csak a kerület mentén helyezkednek el).

Az alacsony profilú hurokra jellemző készítményi technika látható a képen.

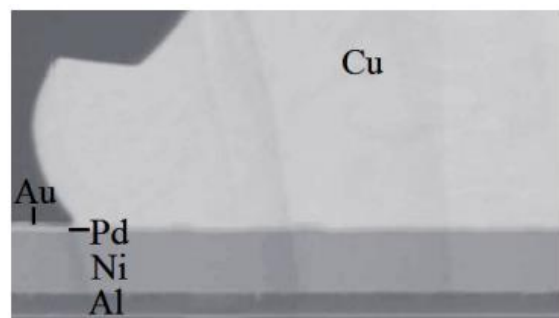
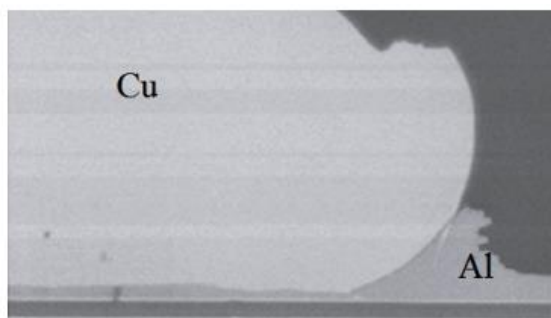


Az alacsony profilú hurok kialakítása azért lehetséges mert a mai technológiai szinten a kötőfej nagy precizitással irányítható, így a kötőfejjel hidegalakítással készítjük el a megfelelő alakzatok. (Fontos szempont hogy ne a HAZ-ban történjék a görbület kialakítása.)

A huzalkötések másik jellemző huzal anyaga a réz. Réz huzal kötés használatának előnye, hogy olcsóbb, nagyon jó a vezetőképessége, nagyobb a Young-modulusa, mint az arany, hátránya a keménysége. Réz huzalkötés kialakításának fontos kelléke, és ebben különbözik az arany és alumínium huzalkötéstől, hogy védőgáz szükséges a készítésekor az oxidáció elkerülésére, és a kötés javítására ez által. A védőgáz atmoszférában (pl. Nitrogén) történő golyóformálás hibája a magas (áramlási) befűzési sebesség, mivel ekkor túlzott deformáció alakul ki a golyón.

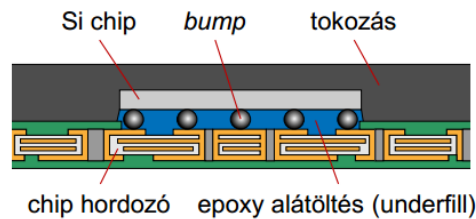


Kontaktusfelületek bevonat réz huzalkötéshez: A kontaktusfelület bevonásához ENEPIG (Electroless Nickel / Electroless Palladium / Immersion Gold - NiPdAu) réteg ajánlott, a sima alumínium bevonat az "Al splash" jelenség miatt nem alkalmas.



IV. tétel: Bumpok készítemi technikái

A Flip-Chipeket aktív felületükkel a chip hordozó felé (face down) ültetjük rá. A chip kontaktus felületein vezető anyagból készített bump-ok (golyószerű kivezetések) állnak ki. A Flip-Chipek bekötése a chip hordozón kialakított kontaktus felületek és a bump-ok villamos összeköttetését és egyben mechanikus rögzítését jelenti. Lehetőség van a 2. szintű összeköttetés elhagyására, és a Flip-chip közvetlen bekötésére a szerelőlemezre (FCOB – Flip-chip on Board)(Az első a FCIP – Flip-Chip in Package).



A Flip-Chipen a bumpok a chip aktív felületén, az oldalélek mentén vagy egy négyzetrács háló metszéspontjaiban helyezkednek el.

A bumpok készítemi technológiát megkülönböztetjük szelet szinten (flip-chip, 50–300 μm) és tok szinten (BGA, 500 μm – 1,5 mm). Szelet szinten történő bump kialakításnak több fajtája létezik:

- Stencilnyomtatás (forraszpasztá),
- Rezgőadagolás ((forrasz) golyó),
- Galvanizálás (forrasz, Au),
- TS huzalkötés ((forrasz) huzal),
- Transzfer eljárás (forraszpasztá),
- Árammentes eljárás (Ni).

Tok szinten történő bump kialakítás vákuumos megfogással, és adagolással történik, így (forrasz) golyókat tudunk a megfelelő helyekre juttatni.

A kialakított bumpok anyagválasztéka három féle lehet úgy, mint forrasz (Sn63/Pb37, vagy SnAgCu), vezető ragasztó (Ag por + epoxi), vagy képlékeny fém (Au, Sn, Ni).

A forrasztás előtt gyakran a chip kontaktus felületeire a bump megtapadása (nedvesítése) érdekében vékonyréteg szerkezetet (fémezési struktúra) visznek fel. Ezt nevezik UBM-nek (Under Bump Metallization). Ennek szerkezetét a táblázat foglalja össze. A réteg azért szükséges, mert a forrasz az Al–ot nem nedvesíti.

Réteg	Olcsó (SnPb)	Drága (LF)	vastagság [μm]
AlSi kontaktréteg			
Tapadó réteg	Cr	Ti/TiW	0,1
Elválasztó, köthető réteg	Cu	Ni/NiW	0,3–5
Köthető, védő réteg	Au	Au	0,1

Az elválasztó kötőréteg szerepe hogy ehhez köt hozzá a forrasztó, illetve megakadályozza a forrasztó diffúzióját az Al-al. A köthető védőréteg általában immerziós arany, célja az oxidáció megakadályozása. Az olcsóbb változat a réz interdiffúziós együttthatója miatt csak ólmos forrasztáshoz használható.

A bumpok stencilnyomtatással történő készítésének mechanizmusa során a forrasztási felületre felvisszük az UBM réteget, majd a forrasztó felvitele következik, végül pedig a forrasztó megömlésztésével kapjuk meg a bumpot. Ehhez hagyományos reflow esetén lézerrel vágott stencilt alkalmazunk. (Szelet szinten pedig galvanoplasztikás Ni stencilt, ami jobb minőséget biztosít viszont drágább.) A stencil vastagsága $\sim 200\text{--}300\text{ }\mu\text{m}$.

A rezgőadagolással felvitt bumpokat kevésszámú I/O kivezetővel rendelkező IC-hez, és viszonylag nagyméretű bumpoknál ($\sim 200\text{ }\mu\text{m}$) alkalmazzák. A folyamat során a beültetőfej a megfelelő helyre szállítja a forrasztó golyót, majd ott ultrahangos rezgés hatására rögzíti azt. Amennyiben a bump forrasztóból készül, újraömlésztéses forrasztást is kell alkalmazni. A technika előnye, hogy nem kell stencilt alkalmazni, hátránya, hogy stencil használata nélkül, egyenként történő beültetés miatt jelentősen lassú a folyamat, ezért prototípus gyártásnál alkalmazzák.

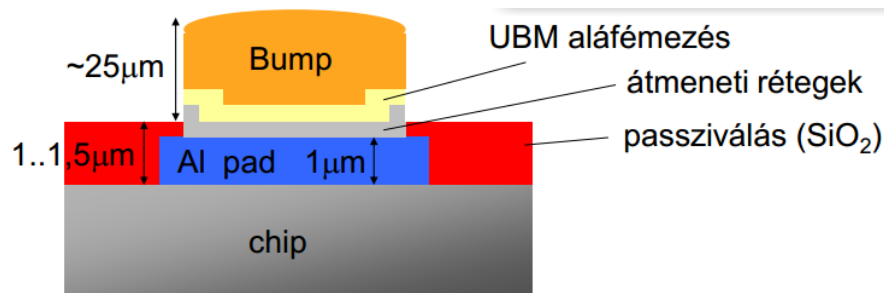
A mikrohuzal kötéssel előállított forrasztó bumpok készítése a következő. A huzal végére a golyót ívkisüléssel ($300\text{--}900\text{ V}$), formáló gázban ($95\text{ }\%$ Ar, és $5\text{ }\%$ H_2) készítik. A chip-et $185\text{ }^\circ\text{C}$ -ra előmelegítik. A $\sim 30\text{ }\mu\text{m}$ -es huzalt termoszonikus kötéssel rögzítik. Egyedi chipre is kialakíthatók bumpok. A folyamat során nem alkalmazunk forrasztószert, ezért redukáló gázos reflow kemencét kell alkalmazni (pl.: hangyasav). A technika hátránya a lassúsága (10 kötés/sec).

A transzfer eljárással készített forrasztó bumpok technológiájánál a kiindulás egy Si hordozó. A hordozóba anizotrop maratással süllyesztékeket állítanak elő, majd ezeket kitöltik forrasztóval. A forrasztó megömlésztése a következő lépés. A forrasztó nem nedvesíti a hordozót, ezért az ömlés felületi feszültség hatására forrasztógömbbé ugrik össze. Az előmelegített chip kötési felületei rányomják a forrasztó gömbökre. A forrasztógömbök nedvesítik a chip kötési felületét, kialakulnak a bumpok. Végzetül a chipet felemeljük a bumpokkal együtt. A technika előnye, hogy a folyamat során nem kell stencilt alkalmazni, kis méretekben is megvalósíthatók. A technika gyors, tömeggyártási technika. A technika hátránya, hogy csak ott valósítható meg, ahol félvezetőgyártás is van.

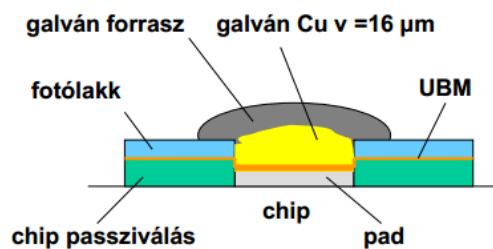
Galvanizálással készített bumpok esetén a készítése során a következő lépéseket kell alkalmazni.

- Passzíváló réteget kell felvinni a szeletre CVD-vel (kémiai gőzfázisú leválasztás)
- Átmeneti rétegek leválasztása a teljes felületre vákuumpárológatással vagy katódporlasztással
- Fotoreziszt felvitele és előhívása
- Bumpok galvanizálása (esetleg előtte UBM galvanizálása) a fotoreziszt nélküli helyekre
- Fotoreziszt eltávolítása
- Átmeneti rétegek lemaratása a bumpok közötti területről.

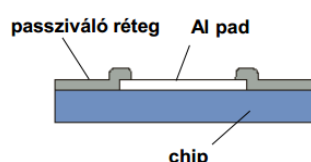
Tömeges termelésre alkalmas, kis méretekben ($\sim 50\ \mu\text{m}$), hátránya, hogy alacsony bumokat lehet készíteni az eljárás során, ami később hibákhoz vezethet. A technológia során az elválasztó réteg lehet Cu vagy Ni. A réz diffúziós mélysége $3\text{--}4\ \mu\text{m}$, míg a Nikkélé csak $0,5\ \mu\text{m}$.



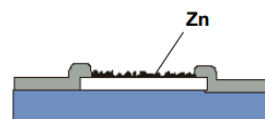
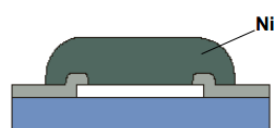
A Motorola galvanizált bump technológiáját tekintve az első lépében a teljes chip felületre felviszik az UBM réteget (Ti–W és Cu réteg) porlasztással. A chip felületeket bevonják fotolakkal, majd fotolitográfia segítségével kijelölik a bumpok helyeit. A forrasztási felületekre rézet galvanizálnak, majd Forraszanyagot. A galvanizálás után a fotolakkot eltávolítják, majd a felesleges helyekről az UBM réteget lelaminálják. Végezetül a galvan forrsmeket megömlesztik, és lehűtik. Ezzel a technológiával magasabb bumpkat kapunk mint az egyszerű galvanizálással.



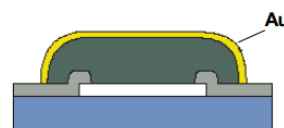
Árammentes rétegfelvitellel előállított bumpok esetén a kiindulás az alumínium kontaktus felület. Ezt tisztítják meg, majd Cinkkel bevonják azt az alumínium–oxid feloldása és a tapadóréteg kialakítás érdekében, mivel az alumíniumot nem nedvesíti a forrasz. A Cink felvitele után árammentes Nikkelt visznek fel, majd ezeket végül aranyozzák. A technika hátránya, hogy alacsony bumpok készíthetők, erre megoldás, hogy interposer anyagnak Si–ot használjunk, mert ez esetén kisebb a vetemedés mértéke.



a chip felületek tisztítása

a pad-ek bevonása Zn-el
(alumíniumoxid feloldása + tapadóréteg)

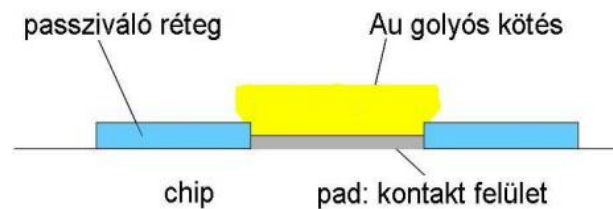
árammentes Ni réteg felvitele



a Ni bump-ok aranyozása

Arany bump készítése golyós huzalkötéssel. A chip kontaktus felületein nincs szükség UBM rétegre. Termoszonikus mikrohuzal-kötéssel Au golyós kötést készítenek az Al kontaktus felületre, majd a huzalt töben elszakítják. Esetenként a golyós kötésre letűző kötés készítenek, így magasabb bumpot kapnak.

Síklapú szerszámmal a bumpokat egyforma magasságúra sajtolják. A flip-chipeket termoszonikus eljárással vagy vezető ragasztással lehet bekötni a szerelőlemezre.

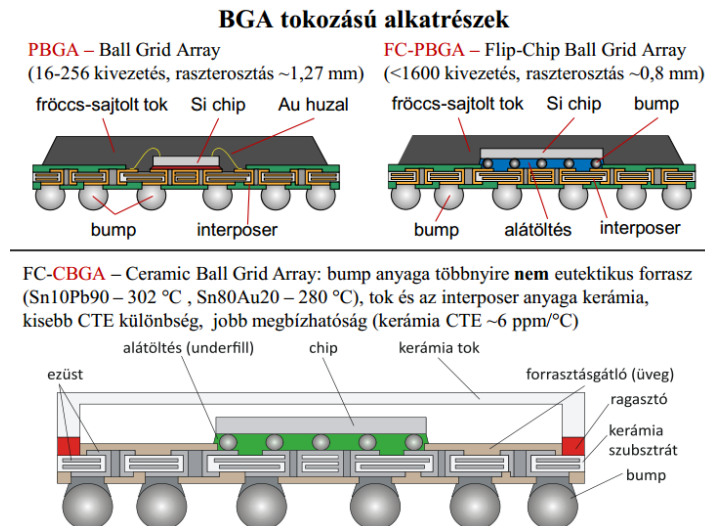


A Flip-chip és a hordozó közötti rést alátöltéssel (underfill) tudjuk kitölteni. Ennek két fajtája van, első esetben a beültetett chip mellé tűs adagolóval visszük fel a műgyantát (capillary flow), majd az a kapilláris hatásnak (elég kis térfogat köszönhetően a folyadék a nedvesítés hatására a gravitációs erő ellenében is tud mozogni) kitölti a rést. Ennek a típusnak az előnye, hogy pluszba forrasztáspasztát tudunk felvinni, hátránya, hogy zárványok alakulhatnak ki (ezt akusztikus mikroszkóppal vizsgálhatjuk). A második esetben (no flow) felvisszük az egész felületre a műgyantát, ebbe ültetjük be a chipet, majd végül a flip-chip beforrasztása, és a gyanta kikeményítése következik. Ennek előnye, hogy nincs zárványosodás, hátránya, hogy nem lehet plusz forrasztáspasztát felvinni.

A Flip-chipek alkalmazásának előnyei, hogy a sok kivezetéses IC chip és az interposer (elosztó réteg)/szerelőlemez huzalozásának mechanikus és elektromos összekötése egy lépésben végezhető el. Igen rövidek (100 μm) a bekötési vezetékhozzsok. A maximális I/O kivezetés-számot nem csak a chip oldal-éleinek hosszúsága, illetve a technológiailag alkalmazható raszter osztás határozza meg. Hátrányai, hogy a flip-chipek kötéseinek ellenőrzése röntgent igényel, illetve nagyméretű (>5 mm) flip-chipek illesztett hőtágulású hordozót igényelnek (pl.: Si, AlN).

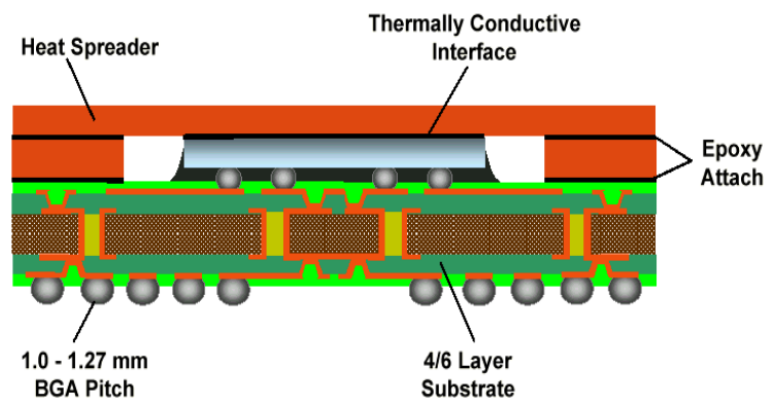
A bump készítés tok szinten történő megvalósítása esetén (BGA) a készítési mechanizmus a folyasztószer felvitelével kezdődik, mely történhet szitanyomtatással, stencilnyomtatással, cseppadagolással, vagy diszpenzálással, melynek lényege, hogy több cseppadagoló fej van. A bumpok megfogásának, felvételének két módja lehet. Egyszerűbb esetben vákuumos fejjel történik a felvétel, amely során a bumpokat inert gáz (N_2) befújásával lebegtetik a tartályban, ahonnan kivesszük őket. Mindkét esetben a kivétel az alkatrész raszterének megfelelően tervezett vákuumos fejjel történik. Második, bonyolultabb felvétel esetén lezárjuk a tárolót a fejjel, megforgatjuk az így kialakult rendszert, mely hatására a forrasztás bumpok a vákuum hatására rögzülnek a fejen, majd visszaforgatjuk a fejet. A felvett bumpokat az előzőleg felvitt folyasztószerbe ültetjük, majd következhet az újraömlésztéses forrasztás. A technika előre gyártott forrasztógolyókat használ, előnye, hogy magas bumpok készíthetők.

V. tétel: BGA tokozású alkatrészek konstrukciója, 3D szereléstechológiák



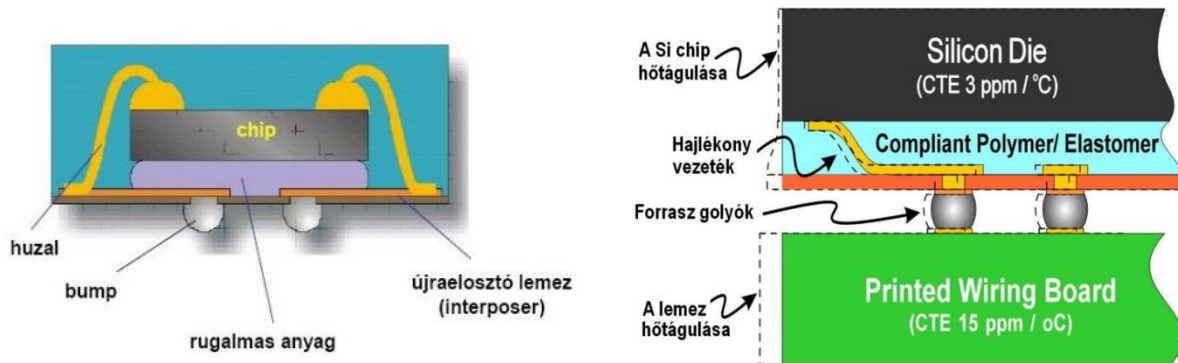
A BGak csoportosítása történhet első szintű összeköttetés szerint (Chip&wire vagy Flip-chip), vagy tokozás anyaga szerint úgy, mint műanyag tokozás (PBGA) vagy kerámia tokozás (CBGA). A kerámia és műanyag tokozás közötti legfőbb különbségek, hogy PBGA-nál újraömllesztéses forrasztás esetén két féle hibajelenség léphet fel, vagy a különböző CTE (hőtágulási együttható) miatt vetemedik el a hordozó, vagy a megolvadt bumpok nagyon ellaposodhatnak, ezzel csökkenik a standoff-height magasságot, ami alapvetően befolyásolja a BGA megbízhatóságát. CBGA-nál a bump anyaga többnyire nem eutektikus forrasz, így a magasabb olvadáspont miatt újraömllesztéses forrasztásnál nem olvad meg, így nem alakul ki ellaposodás, illetve a kisebb CTE különbség miatt vetemedési jelenség sem tapasztalható. Így összességében a CBGA megbízhatóbb technikának tűnik.

Termikusan feljavított flip-chip BGA-k esetében a fémsapkás tokozás mellett a chip és a fémsapka közé egy termikus interfészt helyeznek el, amivel segítik a jobb hővezetést, a külső fém tokja ezzel javítja a hőleadást. A fémsapkát (heat spreader) a hordozóhoz ragasztással rögzítik. A fémsapka szerepe még, hogy az elektromágneses zavarok ellen védelmet nyújt.



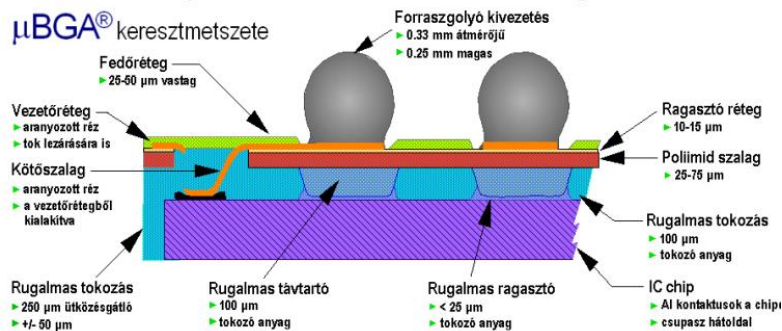
A μ BGA-k esetében a chipnek és az újraelosztó lemeznek nagyon eltérő a hőtágulási tényezője (Si: 3 ppm/°C, NYHL újraelosztó lemez: 15 ppm/°C), ezért célszerű a két réteg közé

egy rugalmas anyagot tenni, hogy az vegye fel a CTE-ből adódó deformációkat. Amennyiben a chip bekötés C&W huzalkötési technika, a huzalkötés növeli a μ BGA tok helyfoglalását, mivel hosszú huzalokat kell alkalmazni. Ennek elkerülése végett a chip bekötését „Flip-TAB” technológiával valósítják meg.



A μ BGA tokozású WLP (szelet szintű tokozás) során a huzalozási pályákat poliimid anyagú hajlékony huzalozású lemezen állítják elő. Ezt a hajlékony NYHL lemezt párhuzamosan helyezik el a chip aktív felületével. A hajlékony huzalozást rugalmas anyagú távtartók rögzítik. A fólia ablakain keresztül az oda szabadon benyúló vezető fólia csíkot lehajlítják, és egyben összekötik a chip kontaktus felületével. A poliimid fólia és a chip közötti rést rugalmas tokozó anyaggal töltjük ki. A védőréteg bevonat elkészítése után a bumpokat hozzák létre. Ez a megoldás hasonlít a TAB technológiára. A korlátot az jelenti hogy mekkora ablakon tud benyúlni a huzalkötő eszköz.

A WFP újraelosztó rétegét (interposer) vákuumtechnikával hozzák létre.



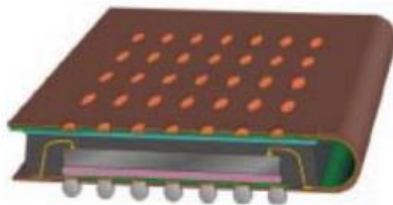
A legegyszerűbb 3D-s áramkörök (vezetékes telefonház belső vezetékezése) esetén a 3D-s készülékházra hozzák létre a nyomtatott huzalozást. A műanyag házra árammentes kémiai eljárással visszük fel a réz huzalozást (rossz tapadás). Az így elkészült áramkörre felületszerelt áramköri elemek helyezhetők.

A 3D-s kialakítás előnye, hogy rövidebbek a jelutak, mint 2D-s esetben, és ezzel a sebességet tudjuk növelni.

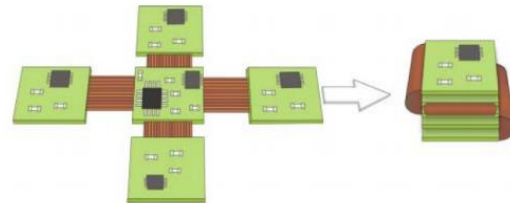
A 3D-s áramköröket különböző módokon lehet csoportosítani, ilyen a hordoz anyaga, mely esetén megkülönböztetünk flexibilis hordozós és merev hordozós áramköröket. Másik csoportosítási lehetőség a szerelés szintje alapján történő besorolás, ez lehet szelet, vagy tok szintű.

Flexibilis hordozó esetén lehet chip on flex(hajlékony interposer), vagy flex-rigid. A hajlítás sugarát meg kell határozni, ami során figyelembe kell venni a legmagasabb alkatrészt, illetve még pontos termikus tervezés is szükséges flexibilis hordozók esetén.

Chip on flex

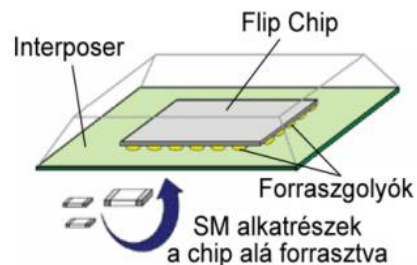
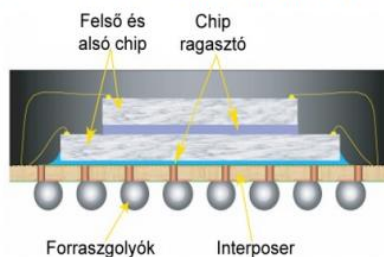


Flex-rigid 3 dimenziós áramkör



Merev hordozós 3D-s áramkörök esetén is több típust különböztetünk meg, a legegyszerűbb, mikor az interposer másik oldalára SM alkatrészeket forrasztunk a „Chip alá”. Másik típus a SCSP (Stacked Chip Scale Package), ahol a chipek kerülnek egymásra. Illetve van még a Package on package technológia, amikor a tokok kerülnek egymásra.

SCSP – Stacked chip scale package

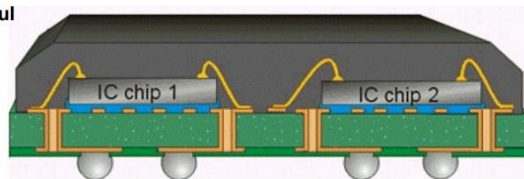


Package on package technológia

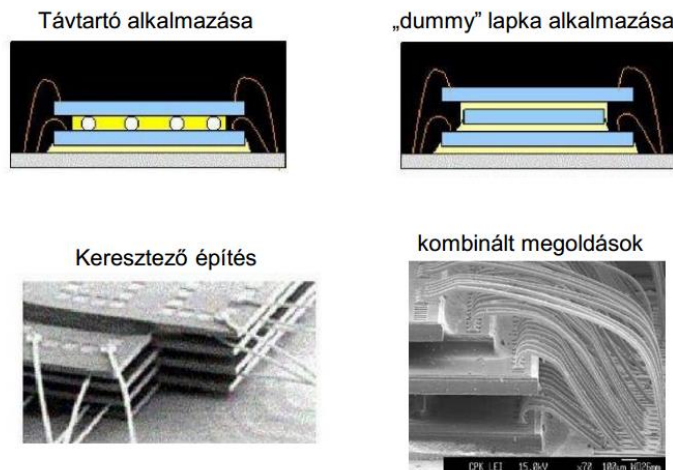


A 3D-s szerelésteknológia lehetővé teszi a multichip modulok használatát, mely során egy tokba több chipet tudunk szerelni. Ennek elrendezését láthatjuk az ábrán.

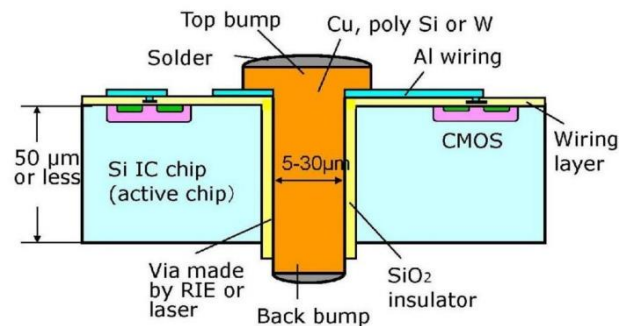
Multichip Modul (MCM)



A már konkrétan 3D-s szerelésteknológia a Stack IC, lépcsős elrendezés. Ekkor már nem egymás mellett, hanem egymáson lesznek az IC-k. Ennek az elrendezésnek különböző típusai vannak. Lépcsős elrendezésnél chip–chip közvetlen kapcsolat van, a felső chip az alsó tetejére csatlakozik, majd onnan az interposer-re. Távtartós megvalósítás esetén nincs már közvetlen chip–chip kapcsolat, összeköttetés csak az interposer rétegen keresztül valósul meg. Előnye a technikának, hogy azonos méretű Si lapkákat tudunk használni. Speciális esete, mikor ún. dummy lapkát alkalmazunk, ami csak technológiai funkcióval bír. Keresztező építés esetén egyforma méretű, téglalap alakú chipek használhatunk, egymással keresztben elhelyezve. Esetlegesen még tudjuk az előző technikákat kombinálni, amennyiben ez szükséges.



A TSV (Through Silicon Via) technológia az egyik legmodernebb technológia, amikor egyforma méretű Si lapkákat közvetlenül viákon keresztül kötünk össze (így akár 50 μm -es jelút is elérhető), vagy illesztett CTE-jű Si lapka-hordozó páros összekötésére (az újraelosztás viákkal megoldható). A viák jellemző mérete 5–30 μm . A kialakítása reaktív ionmarással vagy akár lézerrel is történhet.



A Package on Package (PoP) technológia során a már tokozott chipeket szereljük egymásra. Folyamata során a forrasztási felületre stencilnyomtatással forrasztáspasztát viszünk fel, majd beültetjük az alsó tokot. A felső tokot folyasztószerbe mártjuk, ügyelve arra, hogy megfelelő mennyiségű folyasztószer kerüljön fel a forrasztbumpira. A folyasztószer után a felső tokot ráhelyezzük az alsóra, és a felső Area array bump elrendezésének köszönhetően illeszkedik az alsó, kisebb tokozású chipre. A felhelyezés után újraömllesztéses forrasztás következik, mely során kialakulnak a kötések. Az alsó réteg esetén a felvitt forrasztás segítségével, míg a felső tok esetén a forrasztgolyó hozza létre a kötést. A folyamat kritikus paramétereit:

- A felső tok folyasztószerbe mártásának sebessége, (lassú bemártás és precíz szabályozás az előírt)
- Kritikus érték a standoff–height ami a két interposer közötti távolságot jelenti ($\sim$ bump magassága), mivel a bump forrasztás közben összeesik (67 %, számolásnál 75%, pl.:300->200 μm), és ha ez a magasság túl kicsi volt kezdetben, az alsó tok eltartja a felsőt, ami ezáltal nem létesít kapcsolatot
- Jelentős lehet még a tok vetemedése forrasztás közben, ez a PBGA-ra jellemző, CBGA-ra nem.

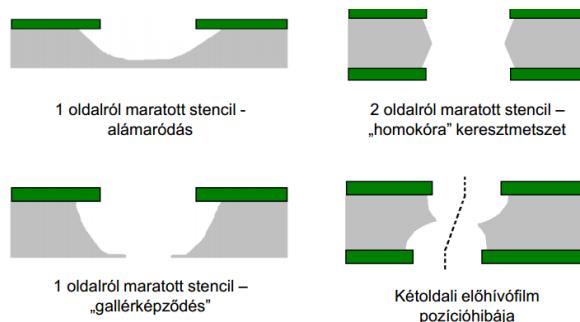
VI. tétel: Stencilek tervezési irányelvei és a stencilnyomtatás folyamata

A stencil keretre feszített vékony lemez, melyen az alkatrészek forrasztására szolgáló felületeknek megfelelően ablakokat (apertúrákat) alakítanak ki. A forraszpaszta nyomtatásához használt stencilek általában 75-200 μm vastagságú fémfóliák.

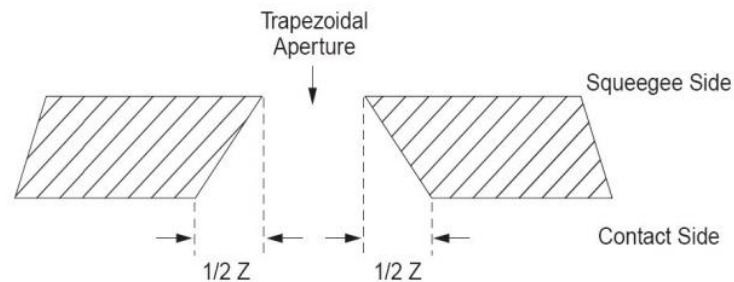
A stencilkészítési technológiák közül a három legelterjedtebb a maratás, a lézerrel vágás és a galvanoplasztika.

	Anyag	Technológia	Raszter	Ár	Vastagság
Kémiai maratás	Cu, Bronz	szubtraktív	$>0,63\text{ mm}$	fólia mérete ~10000 Huf	200 μm
Lézerrel vágás	Rozsdamentes acél, Ni (tartósabb, drágább)	szubtraktív	$\geq 0,4\text{ mm}$	Apertúrák száma ~100000 Huf	100–175 μm
Galvanoplasztika	Ni	additív	$\geq 0,2\text{ mm}$	stencil vastagság ~400000 Huf	50–75 μm

Kémiai maratás során a kémiailag tiszta felületű fémre fényérzékeny bevonatot visznek fel mind a felső, mind az alsó oldalára. Maszkon keresztül megvilágítják a fotorezisztet, majd előhívjuk azt. A kialakult maszk segítségével kimaradjuk az apertúrákat a fémbe, majd eltávolítjuk a fotorezisztet, és kész a maratott stencilünk. A technológia során a maratás típusától különböző módon változik a keresztmetszet. Egyoldalú maratás esetén kialakul az alámaródás jelensége, amikor a maszk alatt is kimarunk az anyagból. Másik jellemző hiba egy oldalas maratás esetén a gallérképződés, ami kisebb apertúra méreteknél elemelheti a forraszpasztát elválasztás után. Két oldalról maratott lemezeknél jellemző jelenség a vállképződés, amely „homokóra” keresztmetszethez vezet, ami a gallérhoz hasonlóan pasztaelemelést okozhat. További lehetséges hiba, ha a két oldalon lévő előhívófilmnek pozícióhibája van, ekkor a vállképződés jelentős mértékben alakul ki, vagy esetlegesen egyáltalán nem kerülnek a minták egymás felé a minták, akkor nem maratjuk át a fémünket. Kémiai maratást az iparban már nem alkalmaznak, csak laboratóriumi körülmények között lehet vele találkozni.



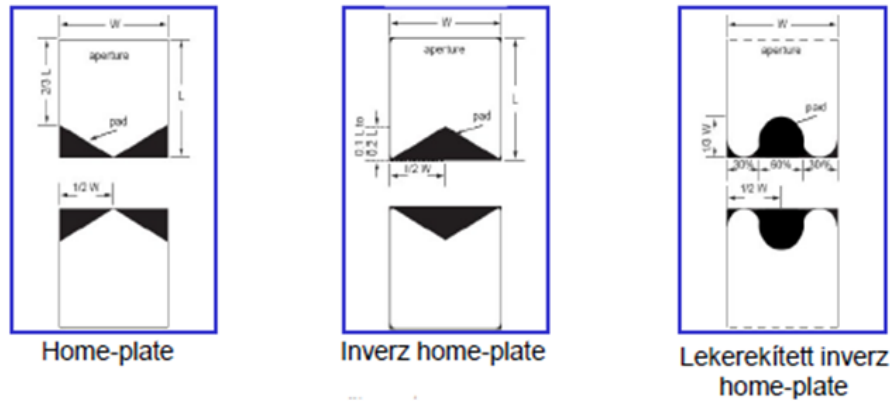
Lézeres vágás során trapéz alakú apertúra keresztmetszetet alakítunk ki, és ezt a hordozó oldaláról vágjuk. Ez a fajta apertúra kialakítás segíti a paszta eleresztését. A megmunkálás során az apertúra fala barázdált lesz, az első nyomtatásnál a paszta megragad a barázdákban, és ezzel egy kenőanyagot képez a későbbiekre nézve, segít, hogy ne ragadjon az apertúrában a paszta az elválasztás során. Lézeres vágásnál az anyagválasztás szinte lényegtelen, ugyanis a nyomtatás és tisztítás közbeni kopás lassabb, mint egy új áramkör gyártásba vitele, így hamarabb cserélik, mint elkopna. Ennél a technológiánál adott egy minimum ár (kb 2-3000 apertúra) ami felett apertúránként kell fizetni.



Galvanoplasztikai eljárással készített stenciliek esetén a tisztított és zsírtalanított fém hordozóra fényérzékeny réteget visznek fel. Ezt maszkon keresztül UV fénnel megvilágítják, majd előhívják. Az alsó fém ekvipotenciális felületnek köszönhetően egyenletesen galvanizálhatunk a fotoreziszt által kijelölt mintába. A galvanizálás után a kész stencilt elválasztjuk a fém hordozótól. A használt technika egy additív technika, ebből következik, hogy az épített réteg vastagsága határozza meg a kész stencil árát. A fotoreziszt előhívásakor kialakult ferde oldalt veszi fel a kialakult stencil is, vagyis ennél a technikánál is trapéz alakú apertúrákat kapunk. Ezzel a technikával érhetjük el a legjobb felbontást, ezért kis raszter osztású alkatrészekhez ajánlott.

Az SM alkatrészekhez történő stenciltervezés folyamán különböző irányelveknek kell megfelelni. Ilyen irányelv az apertúra redukció. Ez az oldalak méretének 10 %-os csökkentését jelenti, abban az esetekben kell ezt alkalmazni, mikor a felület nedvesítése engedi az alkalmazását, mivel egyes forrasztási felület bevonatok esetén, ha nincs a teljes felületen forraszpaszta, akkor is nedvesíti azt. Apertúra redukcióval csökkenthetjük a forraszgolyó képződés kialakulás valószínűségét, mivel kis mértékű félrenyomtatás esetén is a teljes mennyisége a pasztának a forrasztási felületen marad. Apertúra redukciót Nikkel/Arany (ENIG, Ni/Au), Immerziós Ezüst (ImAg), Ólommentes tűzió (LF HASL) bevonatoknál alkalmazzuk. Immerziós ón (ImSn), és passzívált réz (OSP) bevonatoknál nem alkalmazhatunk redukciót.

Következő stenciltervezési irányelv SM alkatrészek esetében az apertúra mintázata. Ezek azért szükségesek, mivel téglalap alakú apertúrák esetében alkatrész beültetésnél forraszpaszta juthat a forrasztási felületen kívülre, ami forraszgolyó képződés okozhat. A jelenség elkerülésére tipikusan a következő 3 geometriai elrendezést alkalmazzák. Home-plate kialakítás esetén probléma, hogy beültetési hibánál könnyen kialakulhat sírkőeffektus. Inverz home-plate esetében probléma lehet, hogy az éles sarkokban bennragadhat a paszta, torzulhat a rajzolat, és nem jut fel elegendő paszta. Lekerekített inverz home-plate-et előszeretettel alkalmazzák melt (hengeres keresztmetszetű) tokozású alkatrészeknél.



Finom raszter osztású alkatrészekhez történő stenciltervezés során figyelembe kell venni a nyomtatási hatékonyságot, a hordozóra felvitt paszta térfogatának, és az apertúra térfogatának hányadosa. A stencil szempontjából három tényező befolyásolja, a stencilkészítési technológia, a méretarány, és a terület–falfelület arány. A méretarány (aspect ratio – AS) az apertúra kisebbik méretének, és a stencilfólia vastagságának hányadosa, nagyobbak kell lennie, mint 1,5. A terület–falfelület arány (area ratio – AR) az apertúra térfogatának és az apertúra falfelületének hányadosa, nagyobbak kell lennie, mint 0,66.

$$TE = \frac{\text{Felvitt paszta térfogata}}{\text{Apertúra térfogata}}$$

$$AS = \frac{\text{Apertúra szélessége}}{\text{Stencilfólia vastagsága}} = \frac{W}{T} > 1,5$$

$$AR = \frac{\text{Pad területe}}{\text{Apertúra falfelülete}} = \frac{W \cdot L}{2 \cdot (W + L) \cdot T} > 0,66$$

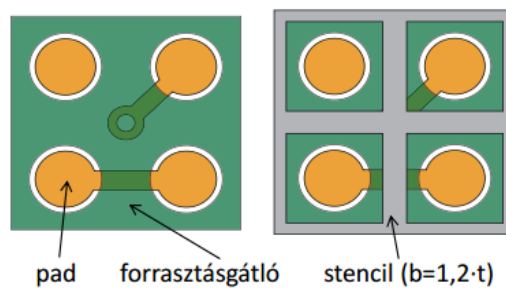
PBGA alkatrészek esetén a bump anyaga többnyire eutektikus forrasz (Sn63Pb37, SAC305, SAC387), a tok anyaga fröccssajtoló epoxi, interposer FR4 vagy BT (Bismaleimide Triazin), nagyobb a CTE különbség, rosszabb a megbízhatóság.

CBGA tokozású alkatrészek esetén a bump anyaga többnyire nem eutektikus forrasz (Sn10Pb90 – 302 °C), a tok és az interposer anyaga kerámia, kisebb a CTE különbség, jobb a megbízhatóság, mint PBGA esetén.

A PBGA esetében az apertúra élhosszúsága megegyezik a pad átmérőjével, fóliavastagság a stenciltervezési szabályok szerint történik. CSP esetén a szemcse átmérőjére figyelni kell. AR számolási képletét átalakítva tudjuk számolni a szükséges stencil vastagságot. Fine-pitch esetén négyzet alakú apertúra, melynek oldalhossz megegyezik a kör átmérőjével.

$$T \leq \frac{W \cdot L}{2 \cdot (W + L) \cdot 0,66}$$

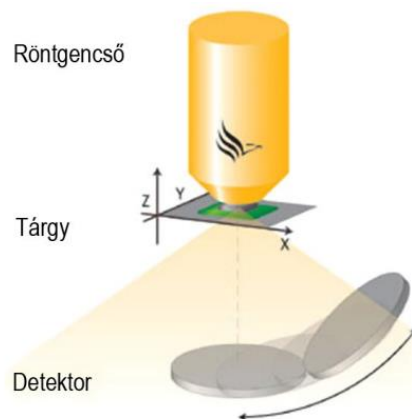
CBGA esetén túlnyomtatás szükséges, hogy a bump magasságának 40–50 %-át ellepje a forrasz. Az apertúra méretének nagyobbak kell lennie, mint a stencil méretének vagy a lépcsős stencilnél. Az apertúra méret növelésének maximumát az apertúrák közötti híd maximális méretével lehet megadni, melynek képlete: $W = 1,2 \cdot t$. Lépcsős stencilek esetén a maximális lépcsőmagasság 25–50 μm, különben nyomtatáskor túl gyorsan kopik a kés.



Pin in Paste technológia sajátossága, hogy furat és felületszerelt alkatrészeket egyszerre tudjuk forrasztani újraömllesztési technológiával. A technológia alkatrészekkel szemben támasztott követelése, hogy az alkatrészek úgy legyenek csomagolva, hogy a beültető gép tudja kezelni azokat, illetve, hogy a tokozásuk kibírják az újraömllesztési forrasztás csúcshőmérsékletét (ez ólommentes forrasztás esetén 250 °C, és ezt a hőmérsékletet 30 mp–ig kell kibírnia).

A PiP technológia során felvisszük a forraszpasztát stencilnyomtatással, majd az alkatrész beültetés során az SM alkatrészeket a pasztába tesszük, a furatszerelt alkatrészeket pedig a megfelelő furatokba helyezzük, amelyek ennek hatására a furatban lévő forraszpasztát egy részét áttolják a túloldalra. Az újraömllesztési forrasztás során kialakulnak a kötések.

A PiP technológia során a forraszpasztát nyomtatás után a furatkitöltés mértékét röntgenes vizsgálattal tudjuk ellenőrizni. Dönthető detektoros röntgen esetén a röntgencső pozíciója állandó, és a detektort mozgatjuk, a mintával együtt.



A dönthető detektoros ellenőrzés lassú mérési eljárás, folyamatszabályozásnál csak mintavételes ellenőrzés valósítható meg. A PiP technológia esetén a követelése a IPC–610 szabvány hatodik fejezetének, hogy a forrasz furat kitöltése 100 % legyen, a forrasztási felület legalább 75 %–ban legyen nedvesítve a forrasztási oldalon, a kivezetés körben legalább 330 °–ban nedvesítve legyen, illetve, hogy a forrasz–meniszkusz alakja homorú legyen.

A forraszpasztát felvitelhez alkalmazott stencilnyomtatás jellemző beállításai a sebesség, késő, az elválasztási sebesség, jellemzi még az alátámasztás és a stenciltisztítás. A sebesség értéke 30...200 mm/s között állítható, kis raster osztás esetén az ajánlott érték a 30...70 mm/s. Túl nagy sebesség esetén a forraszpasztát nem tudja kitölteni az apertúrákat, a megfelelő kés erő esetén a paszta gördül a kés előtt, és minden apertúrát kitölt. A késő

határa 30...120 N, a kiindulási értéket úgy kapjuk meg a beállításhoz, hogy a kés hosszát (cm) megszorozzuk 3-mal, és azt állítjuk be kezdeti értéknek. Túl kis késerő esetén nem megfelelően nyomja a stencilt a hordozóhoz, és a paszta bekerülhet közéjük. Az elválasztási sebesség értéke 0,5...6 mm/s között változhat. A stencil tisztítás 5–20 száraz törlőkendő, 10–20 nedves törlőkendő, és vákuumos tisztítás. Az alátámasztás két féle lehet. Az oszlopos alátámasztás lényege, hogy csak bizonyos pontokon támasztjuk alá a hordozót, ezek a pontok a széleken, illetve fontosabb alkatrészek mellett vannak az alátámasztás előnye, hogy minden lemez esetében alkalmazható, univerzális. Dombormaratos esetben a lemezhez specifikus alátámasztást készítenek. Ez a fajta alátámasztás jobb alátámasztást biztosít, viszont hátránya, hogy hordozó, illetve szerelés specifikus.

A forraszpaszta nyomtatás közben kialakulhatnak különböző hibák, melyeket a következőben ismertetek, okukkal, következményeikkel, megoldásaikkal együtt.

Forraszpaszta eltömíti az apertúrát, ez nyitott kötéshez vezethet. Gyakoribb stencil tisztítás szükséges, nem megfelelő az illeszkedés a hordozó és a stencil között, nincs beállva megfelelően a hordozó magasságába, nem lesz megfelelő a hordozó alátámasztása.

Paszta a stencil alá szárad, ez rövidzárat okozhat. Gyakoribb stencil tisztítás szükséges. Nem megfelelő az illeszkedés a hordozó és a stencil között.

Hiányos pasztalenyomat nyitott kötetést okozhat. Gyakoribb stenciltisztítás szükséges, sokat állt a paszta stencilen. A hiba kialakulhat még akkor is, ha kevés a paszta a stencilen, vagy ha eltömődött az apertúra.

„Kutyafül” effektus rövidzárat okozhat a finom raszter-osztású alkatrészek kivezetései között. Elkerüléséhez növelni kell a nyomtatási sebességet, vagy a paszta viszkozitását. Hiba kialakulásának oka a nem megfelelő elválasztási sebesség, vagy nem megfelelő a hordozó alátámasztása.

Kráter alakú pasztalenyomat esetén kevés a paszta, nyitott kötetést okozhat. Kialakulásának oka a túl nagy késerő, vagy kopott a nyomókés pengéje, vagy ha nem illeszkedik a hordozó a stencilhez, ami kialakulhat, ha nincs megfelelően beállítva a hordozó magassága. Kialakulásának oka lehet a túl nagy élhosszúságú apertúra.

A részleges pasztalenyomat nyitott kötetést okozhat. Kialakulásának oka, hogy a hordozó szennyezett, rosszabbul tapad a paszta a kontaktusfelülethez.

A forraszpaszta-lenyomat ellenőrzése lehetséges 2D-s berendezésekkel (vagy körvonal, vagy magasság információ) vagy 3D-s berendezésekkel (alaki és térfogati információ). Ezek a berendezések inline vagy offline kivitelben is léteznek.

2D-s ellenőrző berendezések lehetnek AOI-ok, ami inline gépek, körvonalat tud vizsgálni, ofszet hibával, lehetnek még lézeres gépek, ezek offline gépek, mintavételes ellenőrzés valósítható meg velük, magasság ellenőrzésére tudjuk használni.

3D-s berendezések mind inline mind offline üzemből léteznek, a vizsgálat során fehérfényt használnak, és térfogati információkat kapunk az adott tárgyról. Felbontó képessége a gépnek, a vízszintes síkon 5–10 μm , z irányban pedig 1 μm .

A forraszgolyó-képződés hibamechanizmusa és kiküszöbölése a következőképpen alakul:

Hibamechanizmus: A forraszpasza – beültetés után – az alkatrész alól a forrasztásgátló lakkrétegre kerülve ott olvad meg. További lehetőség, amikor a folyasztószer felforr, és a megolvadt forrasz szétfroccsen. Ezek a rosszul nedvesíthető forrasztásgátló maszkon golyóvá “ugranak” össze, amelyek a hordozón elmozdulhatnak és rövidzárat okozhatnak.

Megoldások:

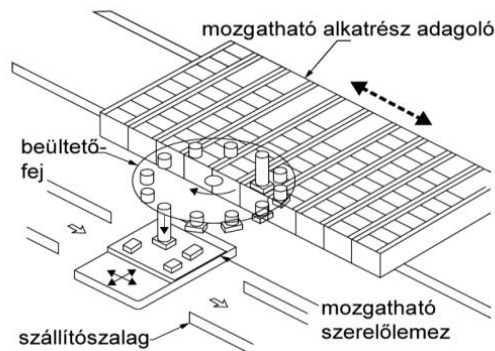
- SM: különböző geometriák az apertúrákon (Home–plate, Inverz Home–plate, lekerekített Inverz Home–plate)
- BGA: megfelelő apertúra méret választással (optimális túlnyomtatás), a forrasztási felületek közötti megfelelő távolság beállításával

VII. tétel: Alkatrészbeültetés

Az alkatrészbeültetés a forraszpaszta felvitel után folyamat, a forrasztás előtt. Ezt különböző módon tehetjük meg, kézi beültetéssel, félautomata beültetővel, illetve automata beültetővel.

A beültető gépeket különböző módon csoportosíthatjuk. A csoportosítás történhet a mozgó egység alapján, lehet mozgó tálcás, vagy hordozóállványos beültetőgép. Lehet csoportosítani a beültetőfej típusa alapján is, eszerint lehet pick&place (felvesz és beültet), és lehet collect&place (összegyűjt és beültet). A beültető fejek mind a kettő esetben vákuumos fejek, csak a második esetben egy revolverfejen több pipetta helyezkedik el sugár irányban.

A mozgótálcás beültetőgépek rendkívül nagy szériaszámú gyártásra alkalmasak. A szerelőlemez mozgó tálcára rögzítik, és ezután azt mozgatják a beültető fejek alá a megfelelő pozícióba. A beültető fej ezek után a irányba mozgással ülteti be az alkatrészt. A gépek akár 100000-110000 alkatrész/óra sebességet is elérhetnek, ellenben a programozásuk bonyolult, ami megnehezíti alkalmazásukat.



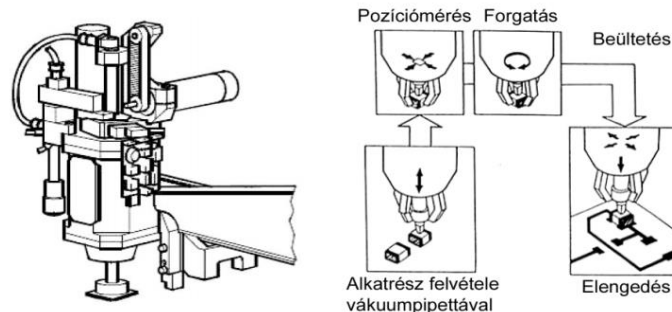
A hordozóállványos beültetőgépeknél a beültetőfej egy állványon mozog, elérve mind az összes alkatrész-adagolót, mind a szerelőlemez teljes felületét. Az alkatrész-adagolók és a szerelőlemez pozíciója rögzített a beültetés közben.



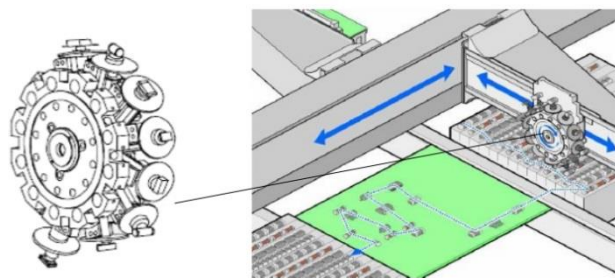
Kézi beültetés esetén a hordozót rögzítjük, és a beültető fej segítségével felvesszük az alkatrészt, majd a megfelelő orientációba forgatva a megfelelő helyre ültetjük be azt.

Pick&Place rendszerű beültető fejek az alkatrészeket egyesével veszik fel a tárból és egyesével ültetik be azokat a szerelőlemezre. A sebessége ezeknek a fejeknek elérheti akár a 20000 beültetett alkatrészt óránként. A pontossága ezen fejeknek rendkívül jó (10–20 μm), így a finom raszterosztású integrált áramköröket többnyire ezekkel a fejekkel ültetik be. A

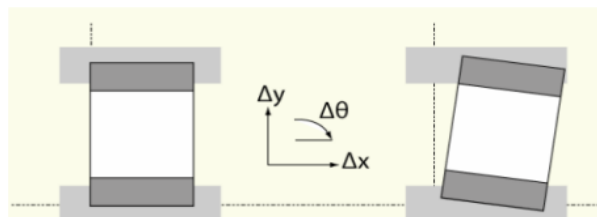
beültetési mechanizmus az alkatrész felvételével kezdődik a vákuumpipettával, ellenőrző segítségével megvizsgálja a pozíciót, az alkatrész állását, a beültetési pozícióba szállítja azt, majd a megfelelő orientációba történő forgatás után beülteti az alkatrészt.



A collect&place rendszerű beültető fejek először több alkatrészt összegyűjtenek a tárból, majd azokat beültetik a szerelőlemez megfelelő helyeikre. Ezen beültető fejek sebessége eléri akár a 80000 beültetett alkatrészt óránként, viszont kevésbé pontosak (20–40 μm), így a passzív SMD alkatrészek beültetésére használják azokat.



A beültetési pontosságot megkapjuk a beültető pontosságának, az alkatrész pontosságának, és a NYHL mintázat pontosságának összegeként. Ezek függvényében megállapíthatjuk a pozícióhibát (accuracy, [μm]), és a pozíció szórását (repeatability, [σ]). Egyéb hibákat tudunk detektálni: az alkatrész leesik a pipettáról, nem kerül beültetésre, az alkatrész melléhelyezése, forgatási hibája, illetve a rossz polaritással beültetett alkatrész.



A mérőeszközök ismételhetőség (a mérőeszközre vonatkozik) és reprodukálhatóság (a mérőszemélyekre vonatkozik) vizsgálata esetén több mintát (pl. 10) vizsgál több ember (pl. 3), többszöri méréssel (pl. 3). A vizsgálat kiértékelése során a mérés és a teljes szórás négyzetét tudjuk megállapítani.

A mérések lehetnek: single blind (a mérő nem de az ellenőr tudja milyen mintát vizsgál), double blind (se a mérő se az ellenőr nem tudja hibás-e a minta)

$$\sigma_{\text{mérés}}^2 = \sigma_{\text{reprod}}^2 + \sigma_{\text{ism}}^2$$

$$\sigma_{\text{teljes}}^2 = \sigma_{\text{alkatrész}}^2 + \sigma_{\text{mérés}}^2$$

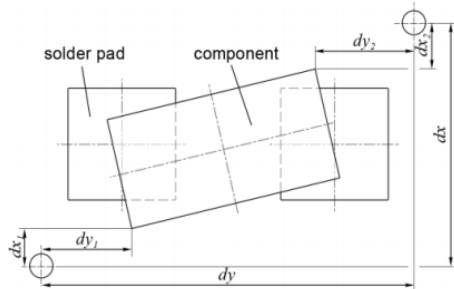
Ezek alapján tudjuk számolni az R&R százalékos értékét.

$$R\&R(\%) = \frac{\sigma_{mérés}^2}{\sigma_{teljes}^2} \cdot 100$$

A kapott érték alapján tudjuk értékelni a képességet.

Minősítés	Nem elfogadható	Felt. elfogadható	Megfelel
R&R	R&R>30%	10%<R&R<30%	R&R<10%

A beültetőgépek beültetési hibájának mérésére több kritériumunk van. Az alkatrész x és y irányú pozícióhibája; elfogadási határ: az alkatrész rövidebbik oldalának 25 %-a. Az alkatrész szögelfordulása esetén az elfogadási határ ± 5 %. A vizsgálatokat AOI vagy optikai mikroszkóppal tudjuk ellenőrizni. A vizsgálatra abszolút mérést tudunk alkalmazni, ami esetén a szerelőlemez 4 sarkán kialakított referenciapontokhoz mérünk, a pontosságot befolyásolja a mérőeszköz. Relatív mérést alkalmazhatunk még, amely esetén az alkatrész köré elhelyezett referenciapontokhoz mérnek, a pontosságot a rajzolatkészítés befolyásolja.



$$x_{ofszet} = \frac{dx_1 - dx_2}{2}$$

$$y_{ofszet} = \frac{dy_1 - dy_2}{2}$$

$$\theta_{ofszet} = \arctan\left(\frac{dx}{dy}\right) - \arctan\left(\frac{dx - dx_1 - dx_2}{dy - dy_1 - dy_2}\right)$$

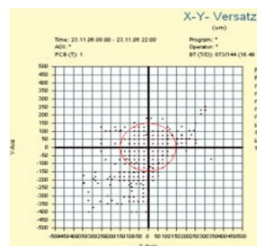
A folyamatok képességi mutatókkal tudjuk jellemezni, ilyen a folyamatképesség (C_P), illetve a korrigált folyamatképességi index (C_{PK}).

$$C_P = \frac{USL - LSL}{2k\sigma}$$

$$C_{PK} = \frac{\min(USL - \mu, \mu - LSL)}{k\sigma}$$

- USL: felső elfogadási határ
- LSL: alsó elfogadási határ
- $k=3$ folyamatképesség esetén, $k=4$ gépképesség esetén

PÉLDA A BEÜLTETŐGÉP KÉPESSÉG VIZSGÁLATÁRA



Példa az x irányú pontosságra:

az eredmény átlaga: 30 μm ,
az eredmény szórása: 25 μm .

0603 méretkódú ellenállásnál (1,5x0,75 mm) az elfogadási határ a rövidebbik oldal negyede: 187 μm .

Ekkor a gépképesség:

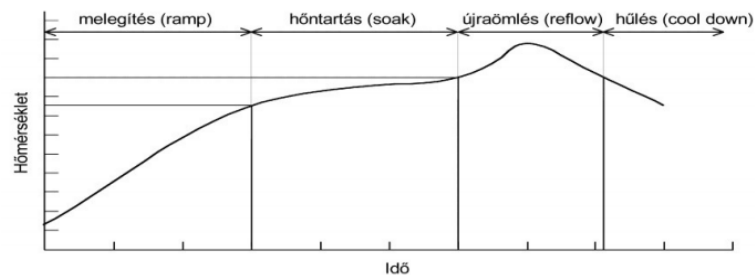
$$cmk = \frac{SL - \bar{x}}{3\sigma} = \frac{(187 - 30)\mu\text{m}}{75\mu\text{m}} = 2,09$$

Cmk	σ	PPM	PPM (1,5 σ)	Pozícióhiba
1	$\pm 3\sigma$	2700	66 811	$\pm 3 \cdot 25 \mu\text{m} = \pm 75 \mu\text{m}$
1,33	$\pm 4\sigma$	64	6210	$\pm 4 \cdot 25 \mu\text{m} = \pm 100 \mu\text{m}$
2	$\pm 6\sigma$	0,002	3,4	$\pm 6 \cdot 25 \mu\text{m} = \pm 150 \mu\text{m}$

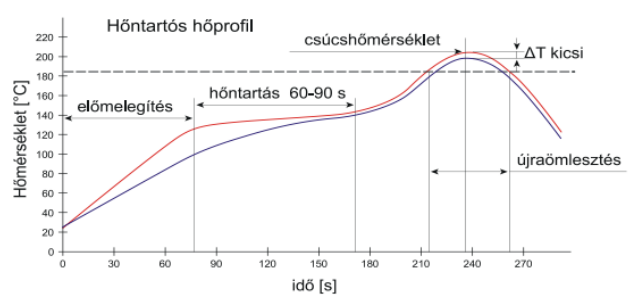
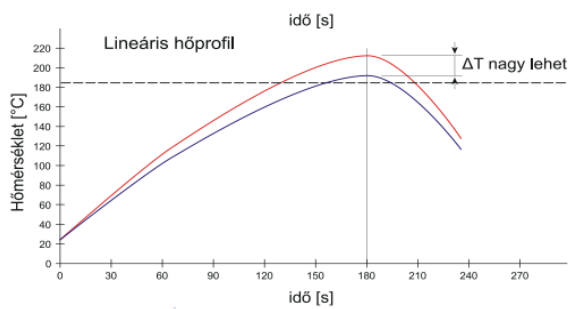
VIII. tétel: Újraömlesztéses forrasztási technológia, szelektív hullámforrasztási technológiák

Az újraömlesztéses forrasztás olyan forrasztási technika, melyet az elektromos áramkörök összeszerelésekor az alkatrészek villamos bekötésére, és rögzítésére használnak. A forraszpaszta felvitel és az alkatrész beültetése után következik a forrasztás. Az újraömlesztéses forrasztáshoz használt berendezések esetében több hűtési és fűtési zónát használunk, mint más forrasztási technológiák esetében, ami lehetővé teszi számunkra a pontosabb ellenőrzést, és a nagyobb mértékű beavatkozást a hőprofil egyes szakaszain. Ezek alapján a következő szakaszokat, és az ezekre jellemző értékeket kapjuk.

Reflow profil szakasz	SnPb	SnAgCu (ólommentes)
Melegítés (ramp)	Hőmérsékleti tartomány: 0–150 °C Hőmérsékleti változás: <2 °C/s Szakaszon töltött idő: 60–150 s	Hőmérsékleti tartomány: 0–160 °C Hőmérsékleti változás: <2–4 °C/s Szakaszon töltött idő: 60–150 s
Hőntartás (soak)	Hőmérsékleti tartomány: 150–183 °C Szakaszon töltött idő: 60–90 s	Hőmérsékleti tartomány: 160–200 °C Szakaszon töltött idő: 60–120 s
Újraömlés (reflow)	Csúcshőmérséklet: 208–230 °C Szakaszon töltött idő: 45–90 s	Csúcshőmérséklet: 230–255 °C Szakaszon töltött idő: 20–60 s
Hűlés (cool down)	Hűlés 130 °C–ig Hőmérsékleti változás: 3–4 °C/s	Hűlés 130 °C–ig Hőmérsékleti változás: 4–5 °C/s

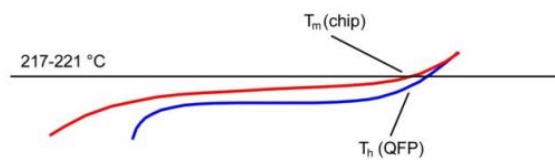


A hőprofilok alakja alapján két csoportba sorolhatjuk az újraömlesztéses forrasztás alatt képződő hőmérsékleti diagramokat. A kisebb és nagyobb alkatrészek különböző mértékű melegedéséből kapjuk a lineáris hőprofil nagy hátrányát, hogy a kis és nagy alkatrészek esetében a forrasztás csúcshőmérséklete esetén nagy lesz a hőmérsékletkülönbség, ellenben ennek kialakulási oka az előnye, hogy a forrasztás gyors (~3 perc). A hőntartós hőprofil lényege, hogy a lineárisal szemben itt, a melegítési fázisban van egy hőntartási szakasz, ami hatására az alkatrészek hasonló mértékben tudnak melegedni, ebből következik előnye, hogy a forrasztás csúcshőmérséklete esetén a kis és nagy alkatrészek hőmérséklete közti különbség kisebb, mint 5 °C, hátránya, hogy a lineáris hőprofilhoz képest lényegesen lassabb, akár több, mint 5 perc is lehet a forrasztás ideje. A hőntartás másik előnye hogy a szerelőmezre felvitt paszta mindenhol egyszerre lépi át az olvadáspontot, illetve a hőntartás alatt aktivizálódik a folyasztószer.



Az ábrán észrevehetjük hogy adott egy magasabb hőmérsékletű vonal, a zónahőmérséklet, amely mindig magasabb a hőprofil hőmérsékleténél.

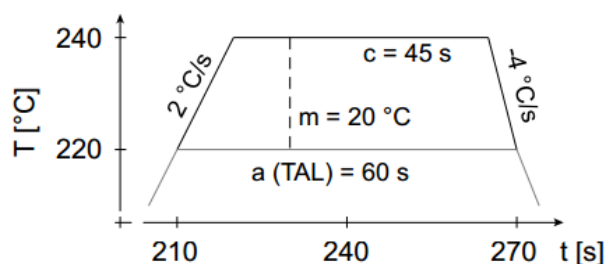
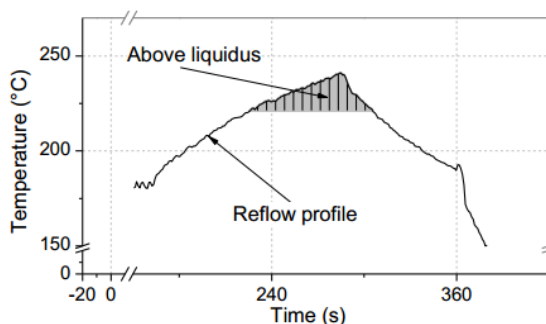
Kényszerkonvekció (meleg levegő áramoltatás) újraömlésztéses forrasztás esetén kisebb a hőmérséklet eltérés a különböző méretű alkatrészeken között, ezzel szemben infrafűtéses esetben nagy eltérés van a különböző méretű alkatrészeken között, és ez esetben számít az alkatrészek tokozásának színe is.



A fűtési tényezővel a hőprofil olvadáspont felett töltött szakaszát tudjuk jellemezni.

$$Q\eta = \int_{t_1}^{t_2} [T(t) - T_m] dt$$

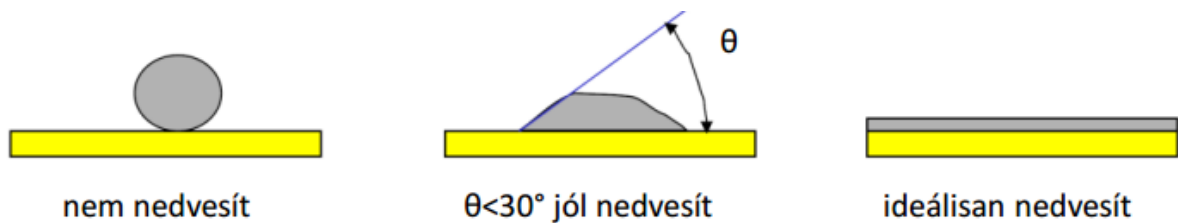
$t_2 - t_1$ az olvadáspont felett töltött idő, T_m az olvadáspont. A számoláshoz egyszerűsített trapéz ábrát szoktunk használni.



A trapéz közelítés esetén feltüntetett hőmérsékleti és idő értékekkel tudjuk számolni a fűtési tényezőt.

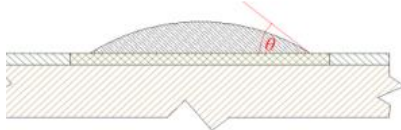
$$Q\eta = \frac{a + c}{2} \cdot m = \frac{60 + 45}{2} \cdot 20 = 1050 \text{ s} \cdot ^\circ\text{C}$$

A forrasztás lényeges momentuma a nedvesítés, ezt 3 fő csoportba oszthatjuk. Nem nedvesít, jól nedvesít ($\theta < 30^\circ$), ideálisan nedvesít.

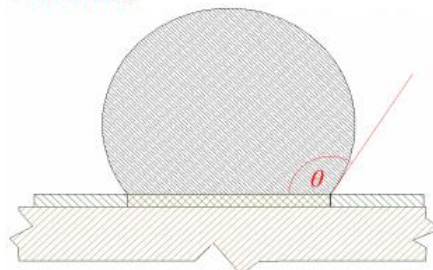


A nedvesítések esetén megkülönböztetjük a nedvesítési szöget, és a perem szöget. A nedvesítési szög a forrasz és a fémmezések anyagi tulajdonságaitól függ. A peremszög a fémmezések geometriai méreteitől és a forrasz térfogatától függ. A nedvesítési szög átlagos értéke ólmos forraszra $\sim 10^\circ$, ólommentesre $\sim 20^\circ$.

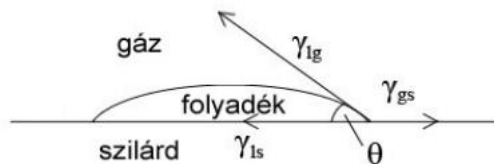
Nedvesítési szög



Peremszög



A nedvesítésre egyensúlyi diagramot és képletet tudunk felírni. Az ábrán a felületi feszültsége vannak feltüntetve két határfelület között, γ_{LG} folyadék–gáz, γ_{LS} folyadék–szilárd, és γ_{SG} szilárd–gáz. Az állapotot a Young egyenlettel lehet jellemezni.

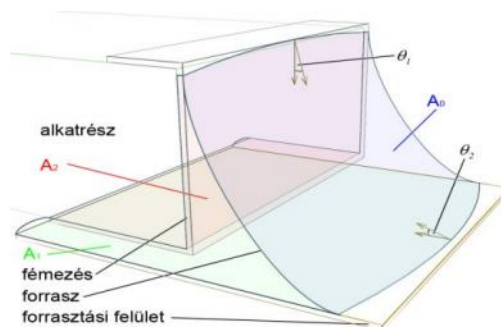


$$\gamma_{LG} \cdot \cos \theta + \gamma_{SL} = \gamma_{SG}$$

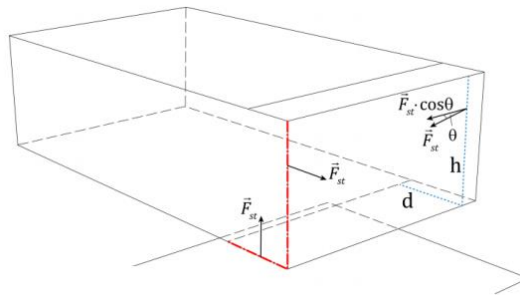
A forraszprofil alakjának meghatározására az alábbi képet használhatjuk:

$$E = E_S + E_G = \int_A \gamma \cdot dA + \iiint_{x y z} \rho \cdot g \cdot z \cdot dx dy dz$$

$$E_S = \int_{A_0} \gamma_{LG} dS + \int_{A_1} -\gamma_{LG} \cdot \cos \theta_1 dS + \int_{A_2} -\gamma_{LG} \cdot \cos \theta_2 dS$$



A beültetés közben kialakuló pozícióhiba a forrasztás közben kompenzálódik amennyiben nem teljesen a forraszpaszta mellé lett ültetve az alkatrész, mivel a forraszpaszta nedvesítése közben visszahúzza a megfelelő pozícióba az alkatrészt. Ennek a visszahúzásnak az erejét egyszerűsített modell alapján tudjuk számolni.



$h=430\text{ }\mu\text{m}$, $d=260\text{ }\mu\text{m}$, θ (SAC305, ImAg bevonat): 22° , γ_{LG} (SAC305): 550 mN/m

$$F_{st} = \gamma_{LG} \cdot (h + d) \cdot \cos \theta = 352\text{ }\mu\text{N}$$

$$F_r = 2 \cdot F_{st}$$

A forrasztandó felület és a forraszfém között diffúzió útján létrejövő néhány mikron vastagságú réteget intermetallikus rétegnek nevezzük. Általános vastagságot a következőképpen tudjuk meghatározni.

$$x\text{ (mm)} = C + \sqrt{t} \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)}$$

E_a aktivációs energia [J/mol], R boltzmann állandó [J/(mol·K)], t idő [s], x vastagság [mm]. Intermetallikus vegyületek a Cu_6Sn_5 , a Cu_3Sn , vagy az Ni_3Sn_4 . Ón–réz intermetallikus rétegnövekedésre, és ón–nikkel rétegnövekedésre a kapott képlet idő függvényében:

Ón–réz intermetallikus réteg: $x_1 = 0,987 \cdot 10^{-3} + 0,017t^{0,497} \cdot e^{\left(\frac{29,54 \cdot 10^3}{RT}\right)}$

Ón–nikkel intermetallikus réteg: $x_2 = 0,244 \cdot 10^{-3} + 1,85t^{0,463} \cdot e^{\left(\frac{45,4 \cdot 10^3}{RT}\right)}$

Az újraömllesztés forrasztás nem megfelelő hőprofilja esetén különböző hibák alakulhatnak ki a különböző szakaszok esetén.

Melegítés során, ha túl lassú a folyamat a paszta megrogyhat, ami rövidzár kialakulásához vezethet, túl gyors folyamat esetén a folyasztószer felforrhat, ami hatására apró forraszgyöngyök jelennek meg (beading).

A hűntartás során, ha túl alacsony hőmérsékleten történik, a folyasztószer nem tisztítja a kontaktusfelületet, rossz lesz a nedvesítés. Túl magas hőmérséklet esetén a forraszpaszta jobban oxidálódik, rossz nedvesítés lesz. Túl rövid idejű hűntartás esetén nagy marad a hőmérsékletkülönbség az alkatrészek között a csúcshőmérsékleti szakaszon, hideg kötés alakulhat ki. Túl hosszú idő esetén a termelékenység visszaesik a hosszú ciklusidő miatt, illetve a forraszpaszta jobban oxidálódik, és rossz nedvesítés alakul ki.

Csúcshőmérséklet esetén, ha az túl alacsony, nem ömlik meg a forrasz, nyitott kötés alakulhat ki, túl magas csúcshőmérséklet esetén eléghetnek az alkatrészek.

Ezen hibák közben az alkatrészek sérülése különböző módon történhet.

Az alkatrészek megolvadhatnak, ekkor ellenőrizni kell az alkatrész adatait, ha lehet, módosítani kell a hőprofil újraömllesztés szakaszát.

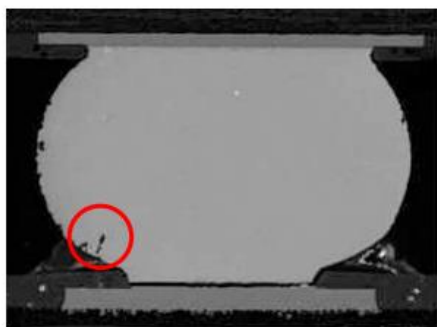
Az alkatrészek elrepedhetnek, eltörhetnek (az alkatrész magába szívja a nedvességet és a forró gőz megtöri – popcorn), ekkor az alkatrészeket beültetés előtt szárítani kell, a maximális forrasztási hőmérsékletet csökkenteni kell, ha lehetséges.

Repedt kötés esetén meg kell akadályozni az áramköri hordozó, vagy az alkatrész mozgását, csökkenteni kell a hűtési sebességet.

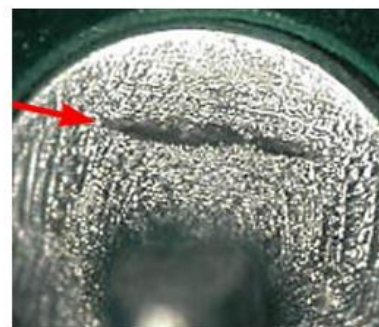
BGA tokozású alkatrészek szerelésénél figyelembe kell vennünk az MSL-t (Moisture Sensitivity Level). Ez határozza meg, hogy a kibontás után mennyi időn belül kell beforrasztani az alkatrészeket. Be nem tartása esetén deformáció és törés jöhet létre a tokban.

MSL szint	Szárítás nélkül felhasználható	Szárítás (125 °C) 1.4 mm vastag tok	Szárítás (125 °C) 2 mm vastag tok	Szárítás (125 °C) 4 mm vastag tok
MSL 6	Kötelező szárítani	28 óra	48 óra	48 óra
MSL 5A	24 óra	28 óra	48 óra	48 óra
MSL 5	48 óra	24 óra	48 óra	48 óra
MSL 4	72 óra	21 óra	48 óra	48 óra
MSL 3	168 óra	16 óra	43 óra	48 óra

A forrasztott alkatrészek jellemző hibája a Shrinkage defect, ami a forrasztott kötés repedését jelenti a hőmérséklettágulási együttható különbségek miatt. A hiba kialakulásának oka a magas ezüst tartalmú (1.5%) forraszt alkalmazása esetén lehet a lassú (<3 °C/s) hűtési gradiens, amely az Ag₃Sn intermetallikus vegyületek szigetszerű kiválását eredményezi. Ezek a szigetek ridegebbek, repedések kiindulási pontjai. A hibát először ólommentes hullámforrasztásnál észlelték. Ólmos forrasztásnál is előjöhethet, megoldás: csökkentett Ag(0.7%) mikroötvözt (m% < 0.1 %), Bizmut-Antimon forrasztás, ez ugyan olcsóbb és csökken a shrinkage defect, de csökken a mechanikai tulajdonsága a kötésnek.



BGA tokozású alkatrész kötése

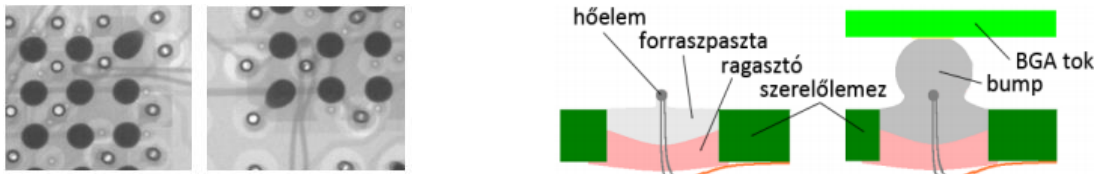


Furatszerelt alkatrész kötése

Intermetallikus vegyület képződés esetén minél nagyobb a hűtési meredekség, annál nagyobb szigetek alakulnak ki. a hűtési gradienst 240–200 °C között mérjük.

A hőprofil méréshez speciális mérőeszközt alkalmazunk, mely hőelemből, adatrögzítőből, hőálló dobozból, és egy adatfeldolgozó software-ből áll. Az SM alkatrészek esetén a hőelemeket a forrasztási felületekhez rögzítve (pl. ragasztva) tudjuk mérni a szerelőlemez

forrasztása közben kialakult hőmérsékleti viszonyokat. BGA tokozású alkatrészek esetén ez a művelet lényegesen nehezebb, két félre elrendezésben tudják megvalósítani. A hőelemet a bumpok közé teszik, vagy a hőelemet beleforrasztják a bumpba. Az első elrendezés esetén előny a könnyű felhelyezhetőség, hátrány a mérési pontatlanság, mivel nem közvetlen a bump hőmérsékletét mérjük, hanem a köztük lévő levegő hőmérsékletét. A második esetben bonyolult a hőelem felhelyezése, ellenben mivel valóban a bump hőmérsékletét mérjük, az nagyon pontos eredményt ad vissza.



Mérés során általában több ponton méri a hőmérsékletet, majd az eredményeket összegezve kapjuk a hőprofil.

Szelektív hullámforrasztás esetén a felületszerelt és furatszerelt alkatrészeket egyaránt tartalmazó áramkörök esetén a felületszerelt alkatrészeket újraömllesztéses forrasztási technológiával, a furatszerelt alkatrészeket pedig valamilyen szelektív forrasztási technikával kötik be. A szelektív forrasztásnál a forrasztóanyag csak a furatszerelt alkatrészek kivezetéseit éri. Legelterjedtebb szelektív hullámforrasztási technikák a keretes szelektív hullámforrasztás, a bélyeges forrasztás, és a kéményes szelektív hullámforrasztás.

Keretes szelektív hullámforrasztás esetén a forrasztást hagyományos hullámforrasztó berendezéssel végzik, szerelőlemez alján lévő felületszerelt alkatrészeket fém (vagy műanyag) maszkkal védik, melyen ablakokat alakítanak ki a furatszerelt alkatrész kivezetéseinek megfelelően. Nagy termelékenysége jellemzi. A forrasztási technika hibája lehetnek a visszamaradó szennyeződések (folyasztószer jut a keret alá, ahova nem jut el az infrás aktiválás, ez maradványokat illetve nagyfrekvenciás alkalmazásoknál szivárgási áramokat okozhat), vagy a forrasz maradványok figyelhetők meg az ablakok élei mentén.

Bélyeges szelektív hullámforrasztáshoz olyan forrasztószereszközt alkalmazunk, mely a szerszámtestre erősített bélyegeket (apró vályúkat) tartalmaz. A szerszámtest a bélyegekkel együtt olvadt forraszt tartalmazó kádba merülve helyezkedik el. A forrasztás során a szerszámtest a bélyegekkel együtt kiemelkedik a forrasztófürdőből. A bélyegek a rajtuk kialakított mélyedések segítségével olvadt forrasztanyagot emelnek ki a kádból, és mivel nem nedvesíthető anyagból készült a vályú ezért a forrasz golyóvá ugrik össze, melyet az áramkör kontaktusfelületeihez érintünk, és így jön létre a forrasztandó kötés. A bélyeges forrasztás előnye, hogy gyors (nem annyira mint a keretes), nincs folyasztószer maradvány, hátránya, hogy minden szerelőlemezhez külön gyártmány kell.

Kéményes hullámforrasztás során speciális forrasztófejjel pontszerű forraszhullámot állítunk elő. Ezt a pontszerű forraszhullámot a forrasztási helyek alá pozícionálva, kivezetőnként létrehozuk a forrasztott kötések. Előzetesen a folyasztószer felvitele történhet ugyanabban a berendezésben. Kéményes hullámforrasztásnak az előnye, hogy nincs folyasztószer maradvány, hátránya, hogy nem annyira termelékeny (kb 5db kéményes hullámforrasztó termelékenysége ér fel egy keretes géppel).

IX. tétel: Az elektronikai gyártás ellenőrző berendezései

Objektív eredményeket szolgáltató, a digitális gépi látás és képfeldolgozás módszereit alkalmazó, szerelt és szereletlen nyomtatott huzalozású lemezek automatizált optikai ellenőrzése. Gyorsabb, pontosabb és olcsóbb, mint a manuális ellenőrzés, így kiváltotta azt. Az áramköri gyártástechnológia összes lépésének (panelazonosítás vonalkód, DMC(Data Matrix Code – kétdimenziós adat kód) segítségével, stencilnyomtatás (a hibák 50–70 %-a), ragasztófelvitel, alkatrész beültetés, újraömlesztés-, parciális-, hullámforrasztás) minősége, megfelelősége vizsgálható a segítségével.

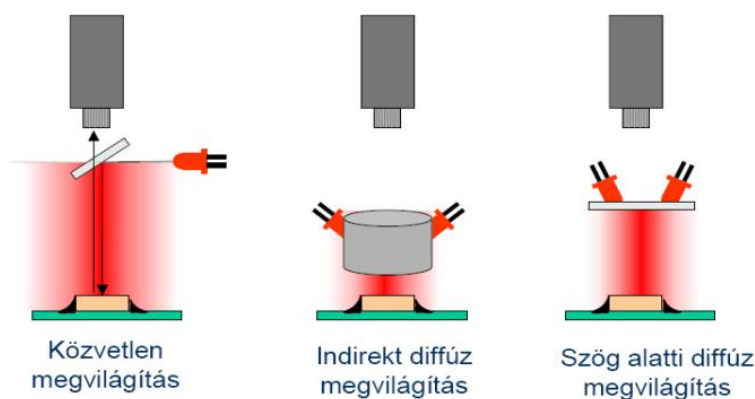
Az ellenőrző berendezések lehetnek inline (gyártósorba illesztett) illetve offline működésűek. Általában a gyártósorokban az egyes rész folyamatok eredményét ellenőrizzük, úgy, mint a stencilnyomtatást (AOI – körvonal, offset, Solder Paste Inspection – 3Ds, térfogati információ, drága), az alkatrészbeültetést (AOI – pozíció, polaritás, alkatrész típus, jelenlét, nagy méreteknél névleges érték), reflow-t (AOI, AXI – ritkán használt).

Az megfigyelő eszközök szükséges elhelyezését, egy adott gyártósoron, a részfolyamatok hibáinak következtében fellépő hozam kiesés befolyásolja. (ez nagyságrendileg kb. stencil nyomtatás után: 1\$, alkatrész beültetés után: 10\$, forrasztás után 100\$). Az alapvető felfogás szerint nem baj ha van hiba, csak ne jusson el a vevőhöz.

Az automatikus optikai ellenőrzés során a készített szürkeárnyaltos képet binarizálja a berendezés, egy adott értékhez viszonyítva fekete, fehér értéket rendel az egyes pixelekhez.

Az AOI-kat kategorizálhatjuk: színmélység (szürkeárnyaltos, B&W, RGB), algoritmusok (élkeresés, Optical Character Recognition – névérték felismerés, morfológiai elemzések) és megvilágítások szerint.

Az AOI-k megvilágítási rendszerüket tekintve 3 félék lehetnek, mindhárom esetben a megvilágítás jellemzően piros, mivel a CCD-k jobban működnek az infra tartományban.



A CCD kamerák esetében a töltéscsatolt eszköz analóg jelét erősítik és digitalizálják, így számítógépek által feldolgozható, tárolható, matematikailag leírható (mátrix) adathalmazként kezelhetjük az elkészített képeket.

A binarizált ellenőrzés mellett másik ellenőrzési mód a színtérképes ellenőrzés, ahol a vizsgálandó felületet három különböző színű (RGB) leddel világítjuk meg különböző szögekből, így információt nyerhetünk a felületi struktúráról (továbbá topológiai információ

– sűrű, domborúság homorúság; szerkezeti információ). A szintértékes ellenőrzés szintelítettségét feljavító algoritmus a De-White algoritmus, melynek lépései a következők (A De-White algoritmus szükségessége a ólommentes forrasztásoknál lépett fel, ugyanis az erről készült képek kevésbé kontrasztosak, sokkal inkább fátyolosak):

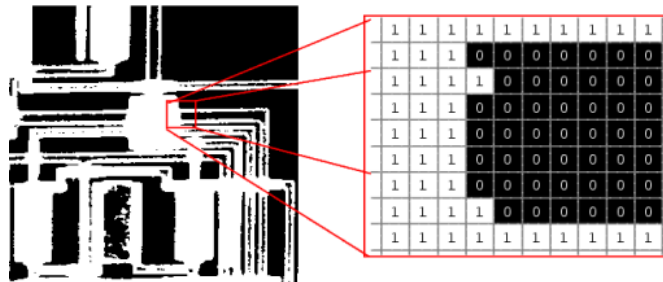
Kiindulás		Az adott színérték C, minimum érték a 3ból: min (C _i)	C - min (C _i)	k=255/max (C _i) max (C _i): előző három érték maximuma	C·k
R	255		105		255
G	160		10		24
B	150		0		0

A képet matematikai reprezentációja során a képet képpontokra bontjuk, ez az x és y irányban tett mintavételezésnek felel meg. A képet reprezentáló pontokat egy mátrix elemeinek tekintjük: $F_{x,y}$

$$0 \leq x \leq N_x$$

$$0 \leq y \leq N_y$$

Ahol N_x és N_y a kép méretei pixelben. Ha az F fényesség csak 0 és 1 lehet, akkor a kép bináris, ha értéke 0 és 256 közötti, akkor szürkeárnyaltos. Ha F vektor, akkor a kép színinformációt is hordoz.

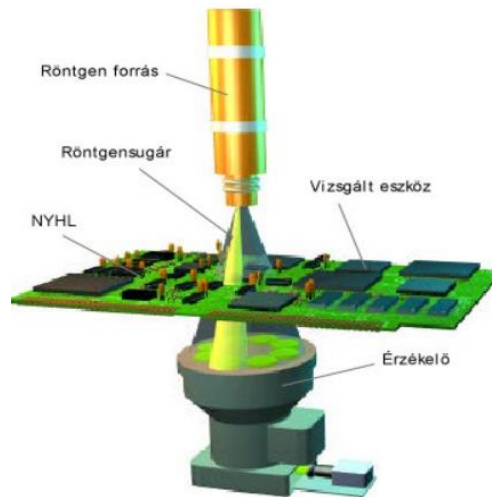


Az automatikus optikai berendezések kamerarendszerére jellemző érték a felbontás (képpontok száma), illetve a látótér (FoV – Field of View). Az elvárt minimum, hogy a vizsgált felületre legalább 10x10 képpont essen. Ez huzalkötések esetén nehezebb, mivel ott az alap, átmérő mérete 30 μm , és ezt 10 részre osztva kapunk 3 μm -es oldalú képpontot elvárásként. Ezek a paraméterek elsődlegesen az áteresztő képességet befolyásolják (pl.: FoV kicsi, nagy felbontás, de kicsit áteresztőképesség – adott kamerfelbontás mellett). A ciklusidő csökkenthető több AOI elhelyezésével (sorosan vagy akár párhuzamosan is lehet).

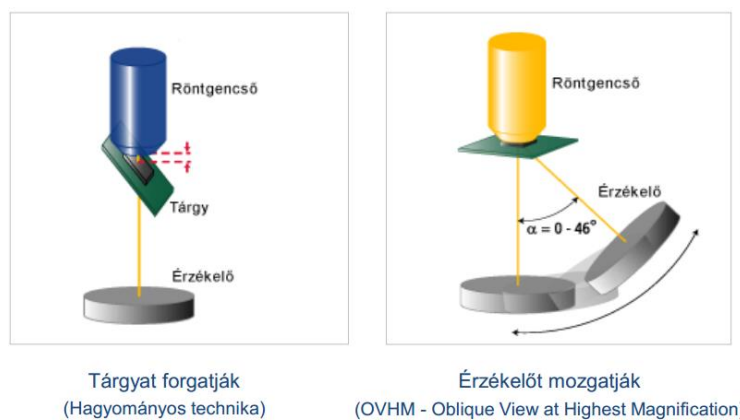
Optikai ellenőrző berendezések közül az üvegszál optikai mikroszkóp alkalmas az alkatrész alatti (pl. BGA) kötések vizsgálatára. Ezzel végzett ellenőrzés roncsolás mentes vizsgálat, azonban a szolgáltatott információ (különösen a belső golyókról) gyakran kevés. Ezért az egyik lehetőség, ha optikai szálat vezetünk az alkatrész alá (korlát: 1–2 mm vastag, mert minden szál 1 pixel). (Ezeket általában ott alkalmazzák, ahol nincs röntgenes ellenőrzésre lehetőség, illetve prototípusgyártásnál).

A kötések alatti vizsgálatokra röntgengépeket alkalmaznak. A 2D-s transzmissziós röntgengép esetén a röntgenforrásból kilépő röntgensugár a vizsgált eszközön keresztülhalad és a detektoron keresztül "felfogjuk". A röntgensugárzás intenzitása a tárgyon való áthaladás során csökken, minden anyag az atommagja méretével arányos mértékben

nyeli el a sugárzást, így detektálhatóvá válik a különböző anyagok jelenléte a vizsgált tárgy teljes keresztmetszetében, ezzel háromdimenziós leképzés illúzióját adva. A 2D-s transzmissziós röntgengép előnye, hogy egyszerű programozni, olcsóbb, mint egy 3D-s röntgengép, hátránya, hogy csak egyoldalas áramkörök vizsgálatára alkalmas.



A 2,5D-s röntgen mikroszkópok különbsége a 2D-hez képest, hogy vagy a mintatartó döntésével, vagy a detektor döntésével szög alatti képet tudunk készíteni az adott áramkörről. A két technika közötti különbség, hogy a döntött detektoros esetben nagyobb nagyítást tudunk elérni, mivel a döntött mintatartós esetben a döntött tartóba ütközünk a minta felé közeledve. Ezek a berendezések tipikus offline berendezések, mintavételes ellenőrzésre alkalmasak. Felhasználásukat tekintve alkalmazhatók BGA-k zárványosodásának ellenőrzésére (kritérium BGA bumpokra, hogy legnagyobb zárványátmérő kisebb legyen, mint a BGA átmérő $\cdot 0,25$), a hiba detektálása közben hiba lehet, hogy a zárványátmérő merően függ a gyorsítófeszültségtől, ennek kiküszöbölése miatt keresztmetszeti csiszolatokat felhasználva próbálják ezt optimalizálni. Kötések alakjának vizsgálatára is alkalmazható a berendezés (bump összenyomódása, torzulása). Furatfémmezést is tudunk vele ellenőrizni (szög alatt vizsgálható), illetve vezetékek szakadásának vizsgálatát is el tudjuk intézni NYHL esetében.

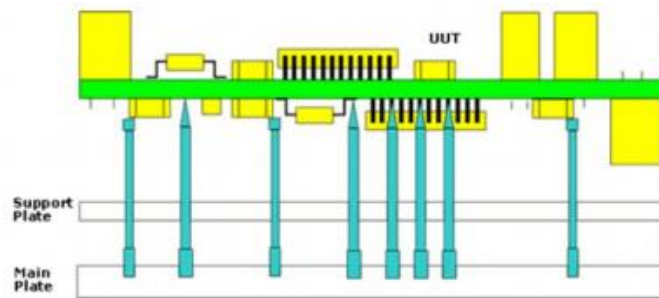


A 3D-s berendezések tomográfiás röntgengépek (CT). A vizsgálat során a mintát egy felfüggesztett pont körül forgatják. Probléma vele, hogy bonyolult algoritmusokat használnak, ezért időigényes, illetve, hogy drága.

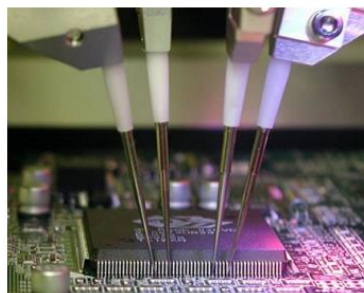
X. tétel: Az elektronikai gyártás minősítő módszerei

Az elektronikai gyártás során szükségünk van mind a bejövő mind a kimenő áru ellenőrzésére, hogy csökkentsük a lehetséges kikerült hibák számát.

Az ICT (In Circuit Tester – tűág) teszt során a villamos paramétereket tudjuk ellenőrizni nem csak szerelés után, hanem NYÁK gyártást követően is. A teszttel szakadásvizsgálatot, zárlatvizsgálatot, és az alkatrész „értékeket” tudunk vizsgálni, amik lehetnek az alkatrész megléte, alkatrész polaritása, illetve az alkatrészek értékei (ellenállás, kapacitás, induktivitás). A teszt hátránya, hogy minden hordozóhoz egyedi elrendezésű tűág szükséges (azt cserélni kell, a mérőrész marad, az állandó), illetve, hogy nyomást kell kifejteni az egyes rugós tűkre (1 tűre ~3N, akkor egy 1000 tűs elrendezés esetén az ~3000N erő kifejtése kell, elrepedhetnek a forrasztott kötések). A felhasznált tűk 3 féle fejjel rendelkezhetnek, hegyes (SM, mérőpontok, sirályszárnny–QFP), koronás (SM, furatszerelt, előny, hogy nem kell annyira pontosan pozicionálni), gyémánt (a fémezett furatba szorítják). Az ICT előnye, hogy gyorsan mér, hátránya, a már említett, nem univerzális tűelrendezés.



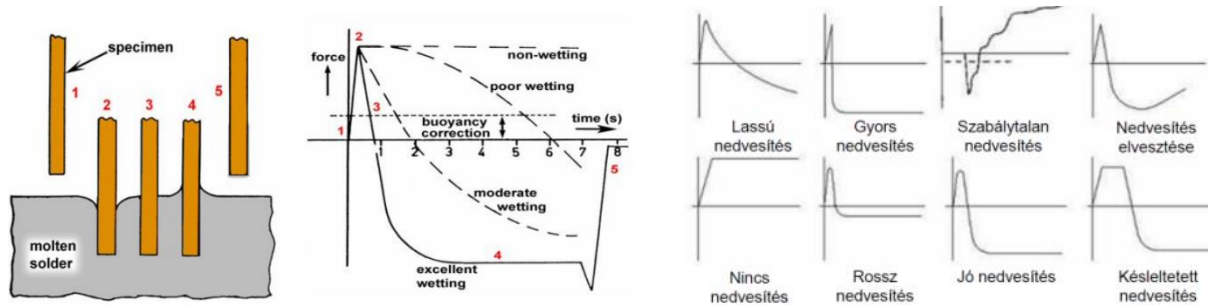
Az FPT (Flying Probe Tester – repülőszondás mérés) teszt esetén nincs merev befogó szerkezet. Könnyű, flexibilis a programozása. Két oldalas, döntött tű pozíciós vizsgálat lehetséges. A teszt előnye, hogy univerzális, minden szerelőlemezhez használható, hátránya, hogy hosszú ciklusidővel dolgozik, ezért kis szériákhoz, prototípusokhoz ajánlott.



A forraszthatósági és kötésminősítési vizsgálatok egyik célja a különbözőfelületi bevonatok minősítése és összehasonlítása, a következőparaméterek szerint: nedvesítési paraméterek (nedvesítési erő, idő és szög), kontaktellenállás, mechanikai szilárdság (erőmérés nyíró vagy húzó feszültség mellett). Ezeket általában bejövő áru vizsgálatára használják.

A wetting balance nedvesítési vizsgálat a forrasztótvözetek, NyHL– és alkatrész fémezések kvantitatív (különböző mérések összevethetők) vizsgálata (nedvesíthetőség, védőfémezés

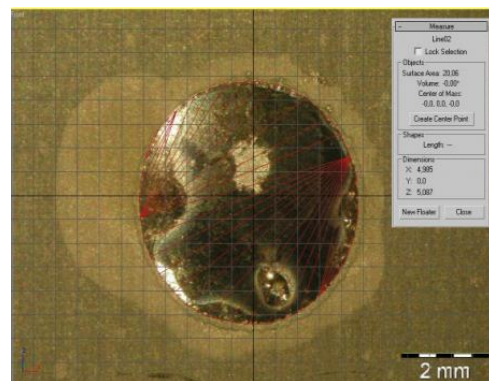
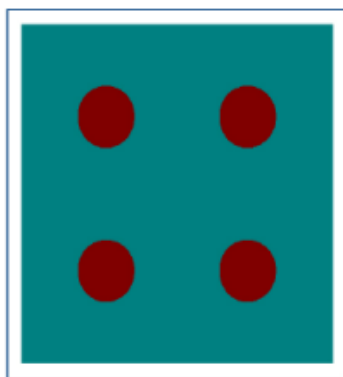
tesztelése). A nedvesítés egyszerűen fogalmazva a megolvadt forrasz területét jelenti. A wetting balance vizsgálat előtt a mintára felvisszük a fluxot, majd az olvadt forrasz felett tartjuk, ami hatására a flux aktiválódik, illetve megtörténik az előmelegítés (1). A következő fázisban a mintát éppen belemerítettük a forraszba, a felületi feszültségből származó erő emeli a mintát (2). A felületi feszültség „áttörése” után az abból származó erő nullával lesz egyenlő, csak a felhajtóerő és a súlyerő hat a mintára (3). A nedvesítés megindulása után a felületi feszültség lefele húzza a mintát (4). A 4–6 mp–ig tartó nedvesítés után a minta kiemelésével (5) végződik a folyamat.



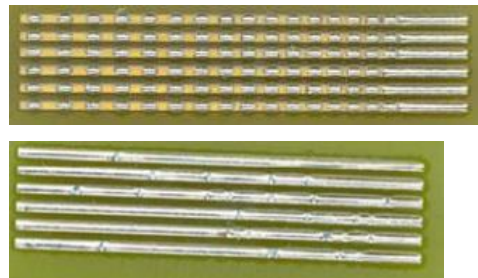
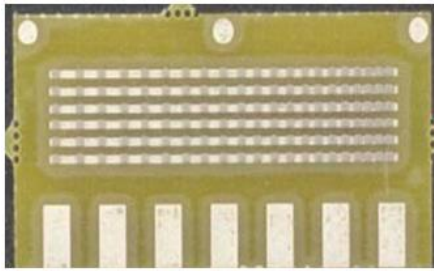
A spreading nedvesítési vizsgálat esetén egy nagy felületre több, egymástól viszonylag távoli pontra forraszpaszta halmot (5 mm átmérőjű) visznek fel, vagy folyasztószer felvitel után forrasz bumpokat visznek fel, és vizsgálják a forrasztás közbeni nedvesítésüket. Az eredményeket a kiindulási és a terület utáni átmérő határozza meg. A keletkezett nedvesítési, területi értékeket optikai mikroszkóppal kapjuk meg. Ez a vizsgálat egy összehasonlítási vizsgálat.

$$F_{mért} = \gamma_{LG} \cdot k_{minta} \cdot \cos(\varphi)$$

A $\cos(\varphi)$ mérésére lehetőség van mérés után (csiszolás) illetve in-situ optikai vizsgálattal.



A bridging nedvesítési teszt során a különböző bevonatok nedvesítési tulajdonságait tudjuk összehasonlítani. A különböző bevonatú csíkokra merőlegesen különböző távolságokban pasztát nyomtatunk, és a forrasztás után vizsgáljuk, és hasonlítjuk, hogy milyen hosszan nedvesít a forraszpaszta az adott bevonatok esetében. A vizsgálat lehetővé teszi a gyors, gyártás közbeni vizuális ellenőrzést. Sokszor több reflow után is szokták vizsgálni a nedvesítés mértékét (a korábbi reflow-ok rontják a nedvesítést az oxidáció és a vékonyodás miatt). Szintén gyakran előfordul, hogy tervezés során a hordozó sarkában elhelyeznek egy tesztáramkört, amin egy bridging teszt segítségével minősítik az áramkört.



A bridging és a spreanding tesztek közös tulajdonsága, hogy egy konkrét NYHL fémezést, egy konkrét forraszanyagot (fém+ folyasztószer), hőprofilát és atmoszférát minősít. Tehát csak a teljes rendszerről kapunk információt, ezért a különböző helyeken végzett mérések nem összevethetőek.

A mechanikus vizsgálatok lehetnek statikusak illetve dinamikusak. Mi statikus vizsgálatokkal foglalkozunk, amelyekkel vizsgálhatunk:

- *forraszokat* (lehet tömbi vagy kötések - IMC, alak)
- huzalkötés ezeket szakítópróbával vagy nyírással szokás tipikusan
- NYHL, hajlékony hordozó - Cu fólia lefejtési szilárdság
- Keménység vizsgálat (Vickers-teszt)
- Nyírási (shear) - a rögzített lap felületi normálisára merőleges erő kifejtés (jelölés szigma ij, i!=j)
- Szakítás (tensile) - a rögzített lappal szemben, párhuzamosan (jelölés: σ_{zz})

A rugalmas alakváltozás:

A rugalmas alakváltozás reverzibilis, amint a feszültség (terhelés) megszűnik, a test alakja visszatér eredeti formájába. Rugalmas alakváltozás esetén a feszültség és a nyúlás között a Hooke törvény teremt kapcsolatot:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

ahol E a Young modulus, más néven rugalmassági állandó. (epszilon az erő, szigma a feszültség)

Nyírás esetén a feszültség és az alakváltozás között a G nyírási együttható (shear modulus) teremt kapcsolatot:

$$\sigma_{xy} = G \cdot \varepsilon_{xy}$$

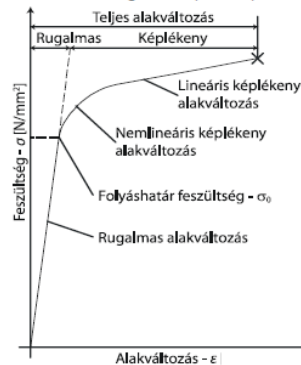
A fenti együtthatók egyszerűbb esetben tekinthetők izotropikusnak, egyébként anizotróp anyagjellemzőként kell kezelni őket.

Különbséget teszünk mérnöki feszültség (szigma = F/A_0 , ahol A_0 a keresztmetszete a mintának) és valós feszültség (szigma = $F/A_{valós}$, mivel a kötés folyamatosan vékonyodik a vizsgálat során ezért a törés utáni értékkel számolunk) között.

Szakításra a Hooke törvényt írjuk fel $\sigma = E \cdot \varepsilon$, de nyíráshoz módosítjuk $\vartheta = G \cdot \gamma$, ahol G a nyírási modulusz, γ a relatív deformáció, és θ a feszültség.

VALÓS ANYAGOK ALAKVÁLTOZÁSA

A valós anyagok időfüggetlen feszültség-alakváltozás (stress-strain) válasza felbontható rugalmas (elastic) és képlékeny (plastic) szakaszra.



A nemlineáris képlékeny alakváltozás a következő összefüggéssel írható le:

$$\bar{\sigma} = K \bar{\varepsilon}^n$$

ahol K a szilárdsági együttható, n a keményedési kitevő.

Az együtthatók bármely anyagra meghatározhatók egyszerű szakító vizsgálatból, mert ilyenkor:

$$\sigma_{zz} = \frac{F}{A} = K \cdot \varepsilon_{zz}^n$$

Forrasztott kötések vizsgálata:

- Tömbi (forrasztóanyag/ forrasztó ötvözet)
- Kötéseken
 - mesterséges (alakja nem csak a struktúrája hasonlít a valóshoz)
 - valós (szakítás, nyírás)

A különbség a kettő között hogy a kötéseken végzett vizsgálatnál az Inter Metallic Layer is belejátszik a kapott eredménybe.

Szakítás/nyírási szilárdság:

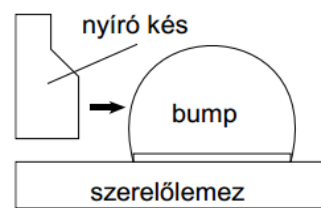
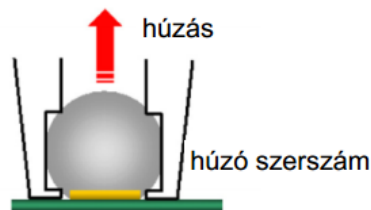
Az a legnagyobb feszültség, amit az anyag adott terhelésre (szakítás/nyírás) jelentősebb károsodás, azaz törés nélkül kibír. Általánosan az LF (ólommentes forrasztó) nagyobb szakítási/nyírási szilárdsággal rendelkezik.

Tömbi forrasztók mechanikai vizsgálata esetén szakító, vagy nyírási szilárdság vizsgálatot alkalmazunk.

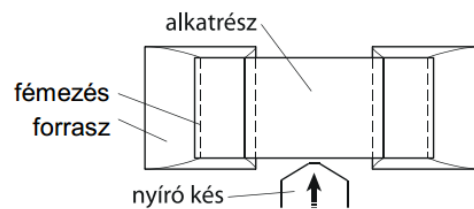
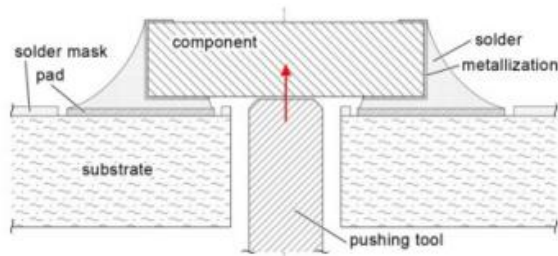
szakító szilárdság:	nyírási szilárdság:

Forrasztott kötések vizsgálata esetén megkülönböztetjük a BGA forrasztógolyók, és a passzív chip alkatrészek kötéseinek a vizsgálatát. BGA forrasztógolyók szilárdságának vizsgálata esetén egy erre kialakított szerszámmal húzzuk azt felfelé, nyírási vizsgálata esetén egy

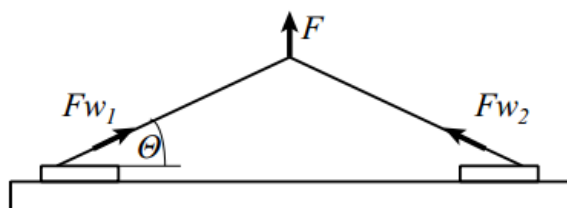
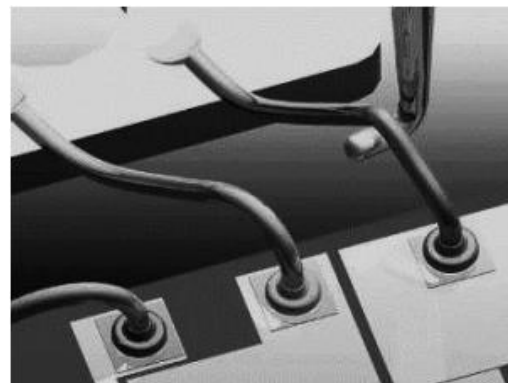
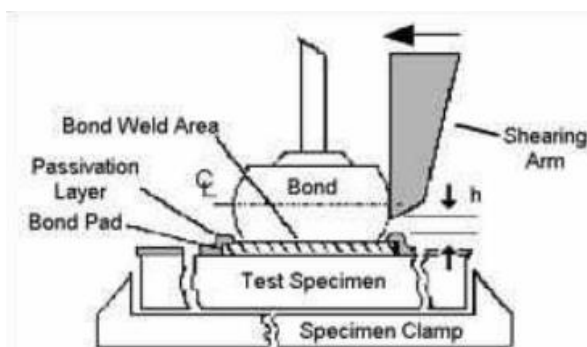
nyírókésrel oldalirányú erőt fejtünk ki a bumbra, ebben az esetben lényeges a kés magassága.



Passzív chip alkatrész forrasztott kötéseinek szilárdság vizsgálat esetén az alkatrész alulról, a NyHL-en, egy furaton keresztül toljuk egy fejjel, és mérjük, mekkora erő kell a kötés eltöréséig. Problémák adódnak, mivel a méretek korlátozzák a folyamatot. Nyírási szilárdság esetén a hosszabbik oldalára merőlegesen egy nyírófejjel toljuk az alkatrészt addig, amíg annak kötése el nem törik.

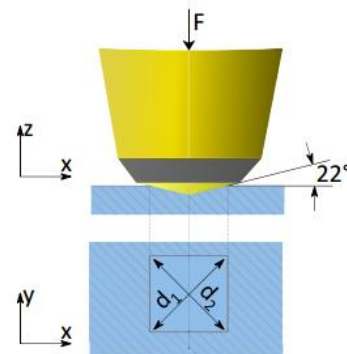
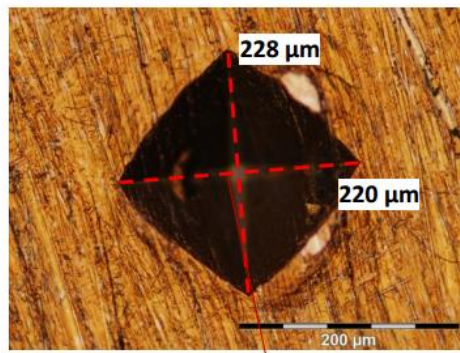


Huzalkötések mechanikai minősítése esetén is megkülönböztetünk nyírási és szakító szilárdságot. Nyírási szilárdság esetén közvetlenül a kötési szilárdságot mérjük. Ékes kötéshez kiválóan alkalmazható, golyós kötés esetén a méretek kritikusak. Szakítószilárdság mérése esetén nem feltétlenül a kötés szilárdságát mérjük, a huzal szakad el sok esetben. Golyós kötéseknel alkalmazzák. A szakítószilárdság mérését egy egyszerűsített ábrán számoljuk.



$$F_{w1} = F_{w2} = \frac{F}{2 \cdot \sin \Theta}$$

Vickers keménység (HV) mérés esetén egy próbafejet nyomunk a felületnek, meghatározott erővel, majd a keletkezett lenyomat alapján tudjuk a keménység mértékét számolni.

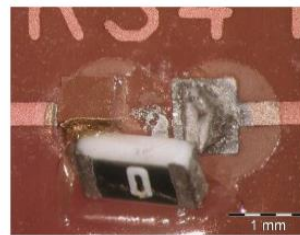


$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d_1 \cdot d_2}$$

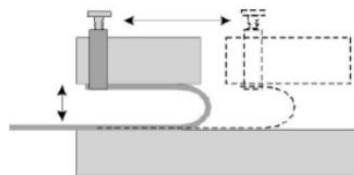
A hajlékony hordozójú áramkörök mechanikai minősítése során a lefejtési vizsgálatot, nyírási szilárdság vizsgálatot, dinamikus hajítási vizsgálatot, illetve szakítószilárdság, relatív megnyúlás vizsgálatot szoktak alkalmazni, ezek közül a lefejtési vizsgálatot (mekkora erővel tapad a rézréteg a hordozóra), illetve a dinamikus hajlítást (szakad vagy eltörik a rézréteg) szokták figyelembe venni.



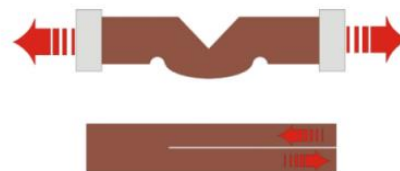
Lefejtési vizsgálat



Nyírási szilárdság



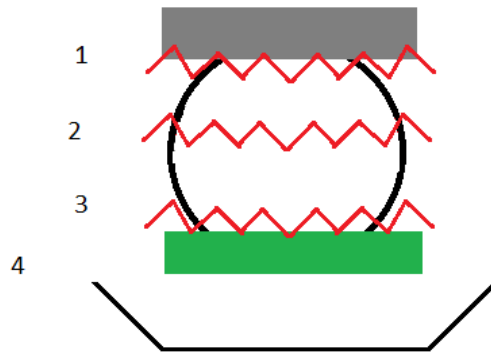
Dinamikus hajlítási vizsgálat



Szakítószilárdság, relatív megnyúlás

BGA tokozású alkatrészek forrasztott kötéseiben terhelés után kialakuló repedések vizsgálatára a „Dye penetration test”-et szokták alkalmazni. Ez nem mechanikai, hanem analitikai vizsgálat. Az eljárás során, egy jó nedvesítésű festékanyag „bekúszik” a repedésekbe és a festéknnyomok alapján vizsgálható a repedések helye és mennyisége. Lépései:

- Az alkatrészt gát anyaggal (polimer) körül vesszük
- kiöntjük a festékanyaggal (követelmény a jó nedvesítés, kapilláris hatás)
- A festékanyag behatol a repedésekbe
- A festékanyagot szárítjuk (~24 óra)
- Az alkatrészt eltávolítjuk és vizsgáljuk a festéknnyomokat



1: UBM Intermettallikus réteg

2: Forrasz Bump törése

3: Intermetallikus forraszréteg

4: NYHL törik