



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Elektronikai Technológia Tanszék

# ELEKTRONIKAI GYÁRTÁS ÉS MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS

Segédlet

Krammer Olivér

BUDAPEST

2020

## Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Az elektronikai gyártás minősítő módszerei</b> .....	<b>3</b>
2.1. Villamos minősítések.....	3
2.1.1. Túágyas, in-circuit test (ICT) .....	3
2.1.2. Repülőszondás, Flying probe test (ICT) .....	5
2.2. Nedvesítési vizsgálatok.....	6
2.2.1. Wetting balance (nedvesítési mérleg) .....	6
2.2.2. Területeszt.....	9
2.2.3. Hídképződési teszt .....	11
2.3. Mechanikai minősítő vizsgálatok.....	12
2.3.1. Forraszanyagok minősítése .....	12
2.3.2. Mikrohuzalkötések mechanikai minősítése .....	17
2.4. Hajlékony hordozós áramkörök minősítése.....	19
2.4.1. Mechanikai minősítések.....	19
2.4.2. Furatszerelésre alkalmas hajlékony hordozós áramkörök hibajelenségei, a hőterheléses vizsgálat.....	21

## 1. Bevezetés

Ez a segédlet az EGyM (BMEVIETAC05) tárgyhoz készült. A jegyzetírásra vonatkozó formai követelmények jelenleg még nem teljesülnek. A dokumentum célja elektronikus segédlet biztosítása a COV miatt bevezetett távoktatás támogatására. A dokumentumot az előadás ppt-vel együtt érdemes tanulmányozni.

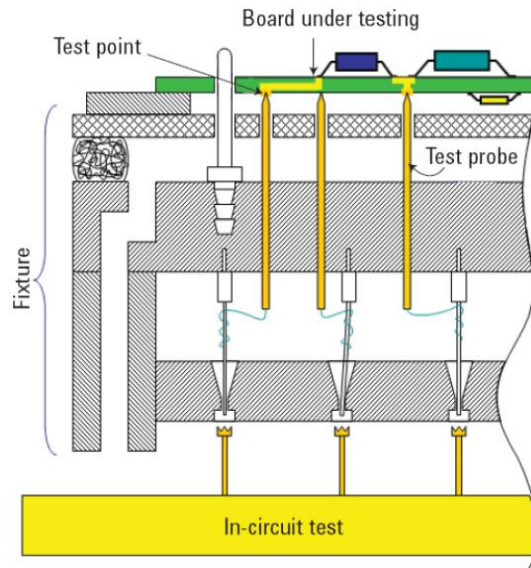
## 2. Az elektronikai gyártás minősítő módszerei

### 2.1. Villamos minősítések

Az elektronikai gyártás szerves része az elkészült gyártmányok, valamint a gyártáshoz alkalmazott anyagok minősítő vizsgálatai. A villamos minősítéseket az elektronikai termék elkészülése után végzik el; többnyire mintavételes ellenőrzéssel. Ez még nem funkcionális tesztelés, csak alapvető villamos paramétereket mérnek. Ilyenek pl. szakadásvizsgálatok; rövidzárok vizsgálata; egyszerűbb, passzív alkatrészek meglétének, polaritásának, illetve névértékének vizsgálata. Az ilyen villamos minősítésekre két eljárás terjedt el, az ún. in-circuit, tűágyas tesztelés (ICT), és a Flying-probe (repülőszondás) teszt.

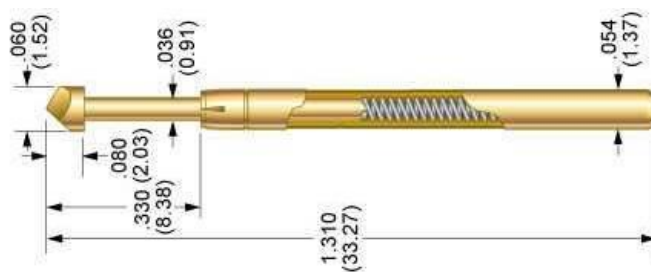
#### 2.1.1. Tűágyas, in-circuit test (ICT)

Az in-circuit, tűágyas tesztelésnél az NyHL-re tervezett tesztpontokon, alkatrészeken, furatfémezéseken tömegesen végzik el a méréseket. Ehhez egyrészt egy tűágyat használnak, amelyhez hozzá vannak kapcsolva a mérőeszközök, másrészt egy adapter (1. ábra – „fixture”), amely a többnyire mátrix elrendezésben kialakított mérőeszköz-interfészeket hozzávezeti a terméknek megfelelő elrendezésű tűágyhoz. Az ICT viszonylag gyors ellenőrzést tesz lehetővé, viszont a különböző termékekhez külön adapterek szükségesek, ami költségvonzattal jár. Fontos, hogy a nyomtatott huzalozású lemez úgy legyen tervezve, hogy minél könnyebbé tegye a tesztelést (tesztelhetőségre tervezés). Továbbá arra is ügyelni kell, hogy a szerelt áramkör megfelelően rögzítve legyen (fordított elrendezésben alá legyen támasztva) a tesztelés közben, mert nagy mechanikai erők ébrednek. Egy testtűt ~3N erővel szorítanak a lemezhez (2/3-ig nyomják be a tűt a hüvelybe), de egy áramkörtön több ezer mérőpont is lehet, ami már kN-os nagyságrendű erőt jelent. Az ICT berendezések gyakorlatilag hidraulikus prések.



**1. ábra. Túágyas tesztelés konstrukciója**

Különböző típusú tűk alkalmasak a különböző alkatrészek, struktúrák kontaktálására, pl. dárdavégződésű tű furatokhoz (2. ábra); koronás vagy konkáv végződésű tű furatszerelt alkatrészek kivezetéseire, koronás tű felületszerelt alkatrészek fémezéseire, vagy forrasszal borított testpontokhoz; hegyes tűk forrasz nélküli testpontokhoz (3. ábra).



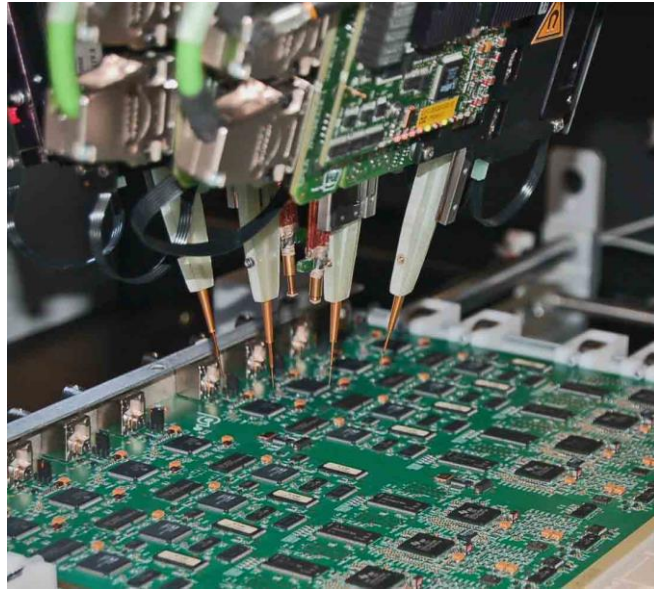
**2. ábra. Dárdavégződésű mérőtű**



**3. ábra. Különböző végződésű mérőtűk ICT teszteléshez**

### 2.1.2. Repülőszondás, Flying probe test (ICT)

A repülőszondás tesztelés lényege, hogy a mérendő lemez fölött egy tesztfejet (amely 4-8-16 tűt tartalmaz általában) mozgatunk a mérendő lokációk fölé, és a fejre rögzített tűk segítségével valósítjuk meg az előző alfejezetben is írt, egyszerűbb villamos méréseket (4. ábra).



**4. ábra. Repülőszondás villamos minősítés**

A repülőszondás tesztelés előnye az ICT-hez képest az, hogy nincs szükség külön adapterre a különböző termékekhez, nincs merev befogó szerkezet, ezek által olcsóbbá téve az eljárást. Hátránya, hogy a mérés folyamata hosszabb, ezért csak kis- és közepvolumenű gyártáshoz javasolt. A repülőszondás mérés lehetővé teszi mindkét oldal egyidejű mérését; hordozófejet alkalmazhatnak a felső és az alsó oldalon is egyaránt. A mérés során döntött túpozíció is lehetséges, ami megkönnyíti a sirálysárny alakú kivezetéseken (pl. QFP tokozású alkatrész) való mérést. A mérés folyamatáról videó elérhető:

<https://edu.vik.bme.hu/mod/resource/view.php?id=10065>

## 2.2. Nedvesítési vizsgálatok

A forrasztás szempontjából az egyik legkritikusabb rész a forrasztóanyag megfelelő nedvesítése a forrasztási felületeken, alkatrészfémezéseken. Ezért több módszer is elterjedt, amellyel a forrasztóanyagokat és fémezéseket ilyen szempontból minősíteni tudjuk: wetting balance (nedvesítési mérleg), terület- és hídképződési teszt. Az egyes tesztek előnyeit, hátrányait az 1. táblázat tartalmazza. A szabványosított és nem szabványosított tesztek közötti különbség alapvetően a vizsgált rendszer komplexitásában rejlik. A szabványosított tesztek esetén, az eredményre hatással levő paraméterek rögzítettek, vagy tartományon belülre kell esniük, ezáltal túl komplex rendszert illetve sok paraméter együttes hatását nem lehet tesztelni. Előnye viszont a szabványosított teszteknek az, hogy az időben illetve térben elkülönülő kísérletek eredményei egymással összevethetők. A nem szabványosított vizsgálatok általában komplexebb rendszerek speciálisabb vizsgálatára képesek, és időben és térben nem nagyon elkülönülő minták összehasonlító vizsgálatára alkalmasak.

1. táblázat. A nedvesítési vizsgálatok módszereinek összehasonlítása

	Wetting balance	Terület teszt	Hídképződési teszt
Módszer	Szabványosított	Nem szabványosított	Nem szabványosított
Minősített anyagrendszer	Forrasztóanyag + folyasztószer + fémezés + esetleg atmoszféra	A komplett forrasztóanyag, fémezés, atmoszféra rendszer	A komplett forrasztóanyag, fémezés, atmoszféra rendszer
Forrasztási paraméter	Csúcshőmérséklet	A teljes hőprofil, annak összes szakasza	A teljes hőprofil, annak összes szakasza
Teszt menete, kiértékelés	Komplex	Közepesen nehéz	Egyszerű

### 2.2.1. Wetting balance (nedvesítési mérleg)

A wetting balance teszténél egy előzetesen folyasztószerrel ellátott mintát mártanak olvadt forrasztóanyagba. A forrasztóanyag hőmérséklete szabályozható. A mintatartó végén egy erőmérő-cella helyezkedik el, amellyel a forrasztás közben a mintára ható erőket mérni tudjuk.



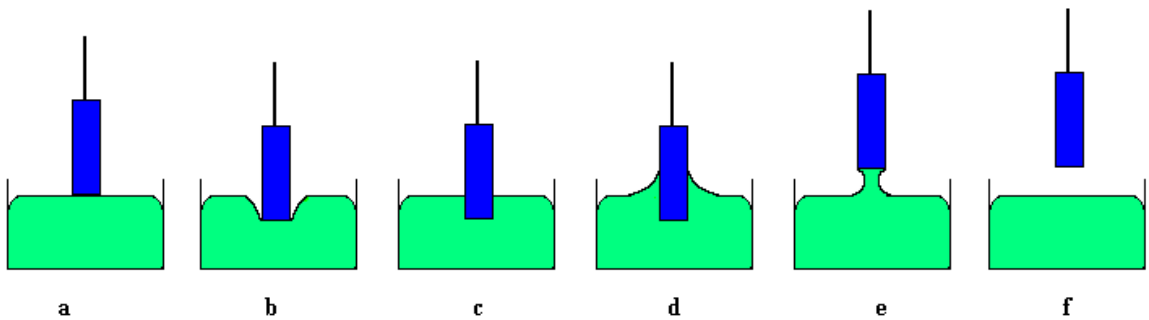
a)



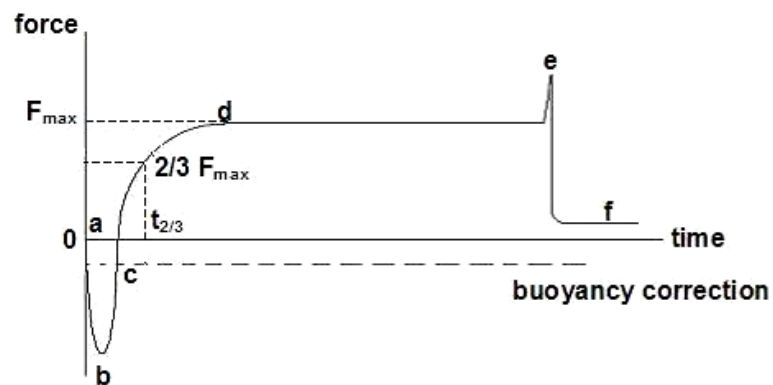
b)

5. ábra. Wetting balance mérés: a) a vizsgálóberendezés;  
b) a minta bemártása az olvadt forraszba

A mérés menete (6. ábra) és a kapott görbe (7. ábra) a következők.



6. ábra. A wetting balance vizsgálat menete



7. ábra. A wetting balance vizsgálattal nyert erőgörbe

a) *A minta bemerítés előtt*; a mintát előzetesen folyasztószerrel láthatják el, amelyet úgy aktiválnak, hogy a mintát megadott ideig (~10–20 s) az olvadt forrasz felett tartják adott távolságra.

- b) *Éppen bemerítés után, a felületi feszültség emeli a mintát*; itt gondoljunk arra, hogy a felületi feszültségből származó erő  $F_\gamma = \gamma_{LG} \cdot k \cdot \cos \theta$ , ahol  $k$  a bemerített minta kerülete; itt még nem nedvesít a forrasz, tehát  $\theta > 90^\circ \rightarrow \cos \theta$  negatív.
- c) *A felületi feszültségből származó erő egyenlő nullával*; az ábra mutatja, hogy ekkor  $\theta = 90^\circ$ , tehát  $\cos \theta = 0$ ; csak a felhajtóerő hat a mintára; a minta súlyával már a mérés kezdete előtt korrigálnak.
- d) *Megindul a nedvesítés, valamint d–e szakasz a mérés állandósult állapota*;  $\theta < 90^\circ \rightarrow \cos \theta$  pozitív, melynek hatására a felületi feszültség lefelé húzza a mintát;
- e) *Minta kiemelése a forraszból*; egy erőcsúcsot látunk itt, mert kiemeléskor a nedvesítési szög lecsökken (a dinamikus szög eltér a statikus szögtől), és  $\cos \theta$  nagyobb értéket vesz fel az állandósult állapothoz képest
- f) *Kiemelt minta*; érdemes megfigyelni, hogy a mért erőgörbe nem tér vissza nullába, hanem a mintára feltapadt forrasz súlyát mutatja.

A görbéről legalább két fontos paramétert szoktak leolvasni. Az egyik a nedvesítési erő (statikus állapotban, d–e szakaszon mért erő), melyet  $F_{\max}$ -szal jelölnék, de nem összetévesztendő a kiemeléskori erővel (e pont). A másik paraméter pedig a nedvesítés dinamikáját jellemző idő (c ponttól  $2/3 \cdot F_{\max}$ -ig) vagy a c–d szakasz átlagos meredeksége.

Az  $F_{\max}$ -ból határozható meg a mért forraszötvözetre adott hőmérsékleten érvényes felületi feszültség az alábbi szerint (1):

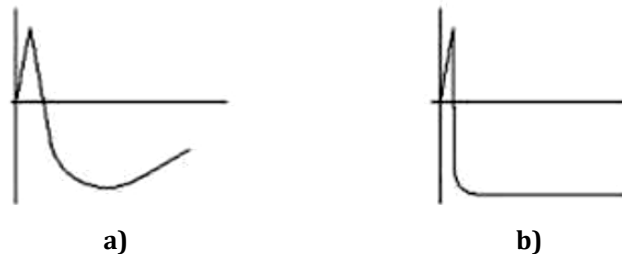
$$F_\gamma = F_{\max} = \gamma_{LG} \cdot k \cdot \cos \theta \rightarrow \gamma_{LG} = \frac{F_{\max}}{k \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

A kiszámításhoz szükséges nedvesítési szöget vagy in-situ (mérés közben) vizsgálják, pl. a berendezéshez erősített kamerával (5. a. ábra), vagy utólag vizsgálják meg, pl. keresztmetszeti csiszolatok készítésével.

A wetting balance vizsgálatot lehetséges elvégezni kisméretű alkatrészkievezetőkre is, ekkor a kisebb forraszgömböt állítanak elő, hasonlóan a kéményes szelektív hullámforrasztásnál látotthoz.



A diasorban mutatott különböző nedvesítési görbék közül kettőt emelnék ki, az egyik a nedvesítés elvesztése (de-wetting), a második pedig a túl gyors nedvesítés (8. ábra).

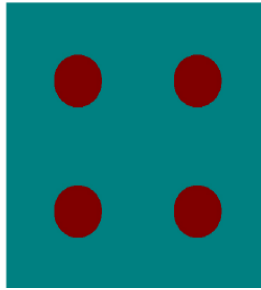


**8. ábra. Különböző nedvesítési görbék wetting balance vizsgálatnál (a függőleges, erőtengely itt tükrözve van): a) nedvesítés elvesztése (de-wetting); b) túl gyors nedvesítés**

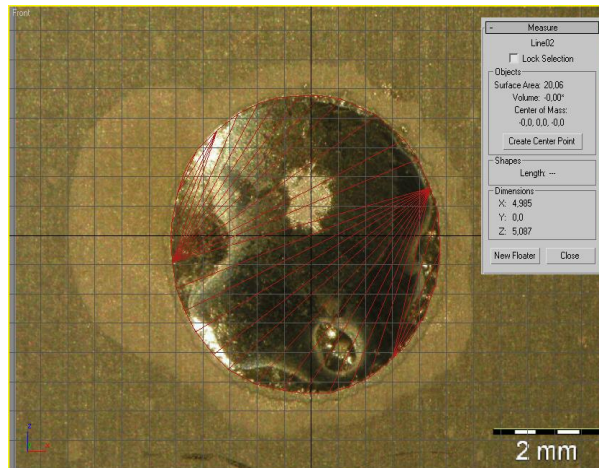
Előbbinek az oka, ha túlzott oxidációs folyamatok látszódnak le a forrasztás/mérés közben; pl. a mintán a bevonat vastagsága nem megfelelő és túl gyorsan oldódik be a forraszba. A túl gyors nedvesítés problémája pedig az, hogy ilyen nedvesítést mutató anyagrendszer alkalmazása esetén könnyebben fordul elő sírkő effektus, vagy az alkatrészek elcsúszása forrasztás közben. A túl gyors nedvesítés ellen úgy szoktak védekezni, hogy nem teljesen eutektikus forraszötövet alkalmaznak, és az átmeneti fázis (szilárd + folyadék) jelenléte lassítja a forrasz megömlését, és ezáltal a nedvesítését.

### 2.2.2. Terülésteszt

A terülésteszt lényege, hogy adott térfogatú forraszanyagot, általában forraszpaszta formájában stencilnyomtatással (9. ábra), visznek fel a nedvesítendő fémezésre, nyomtatott huzalozású lemezre, majd újraömlesztő kemencében forrasztják meg a kísérletnek megfelelő hőprofillal. A szokásos forraszpaszta átmérő 5 mm, és ügyelni kell arra, hogy a forrasztási felület lényegesen nagyobb legyen (pl. 40x40 mm 4 db lenyomathoz), hogy a forrasz akadály nélkül tudjon terülni. A vizsgálat után az elterült forrasz területét mérik optikai mikroszkóppal, képi feldolgozással (10. ábra).



9. ábra. Területesztel felvitt forraszpaszta sematikus képe (4 ismétlés)



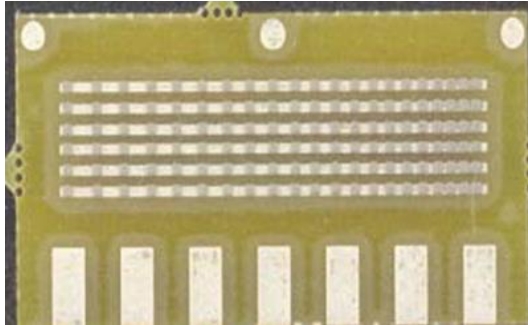
10. ábra. Forrasz optikai mikroszkópos képe területeszt után

A területeszt leginkább különböző NyHL fémezések, hőprofilok, forraszok összehasonlító vizsgálatra alkalmas; eredménye tartalmazza a forrasztási folyamat összes paraméterét (forraszpaszta + hőprofil). Ezáltal a gyártás egészének minősítésére alkalmasabb, mint wetting balance teszt.

Az eredmények értékelésekor nem kell meglepődni, ha az elterült forrasz területe nem nagyobb lényegesen, mint a felvitt forraszpaszta területe, mert a mérés közben a pasztában lévő folyasztószer (50% wt%) eltávozik. Ezért bizonyos esetekben a mérés érzékenysége alacsony lehet. Ilyenkor forraszpaszta felnyomtatása helyett előformázott forraszgolyókat ( $\sim\varnothing 700\ \mu\text{m}$  bump) alkalmaznak, és a kezdeti területet a forraszgolyó átmérőjéből számítják. Utóbbi megoldásnak a hátránya, hogy már nem teljes forraszpaszta-rendszert minősíti, hanem a forraszfém-folyasztószer párost elkülönítve.

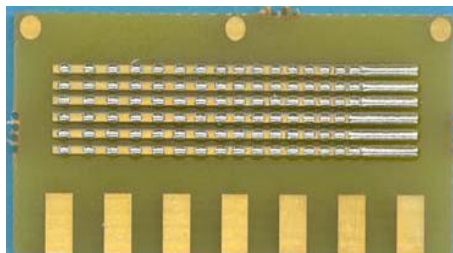
### 2.2.3. Hídképződési teszt

A hídképződés jellegében nagyon hasonló a területeszteszhez. Itt is forraszpaszta-nyomatokat visznek fel nedvesíthető felületre (általában sáv formájú – 11. ábra), majd megforrasztják a mintát.



11. ábra. Hídképződési teszt mintázata

A felvitt lenyomatok távolság különböző, szekvenciális csökkenő, és azt vizsgálják, hogy mi az a legnagyobb távolság, ahol a forrasz még összefut, hidat képez. Ez a vizsgálat gyors, szemrevételes ellenőrzést tesz lehetővé, nincs szükség optikai mikroszkópra, és a lenyomat területének mérésére. Ezért sokszor a gyártásban folyamatosan alkalmazott; a tesztmintázatból 2–3-at ráterveznek az éles termékekre is, és a gépkezelők a forrasztás után egyből tudják ellenőrizni, hogy a nedvesítés és a forrasztás megfelelő volt-e (12. ábra).



a)



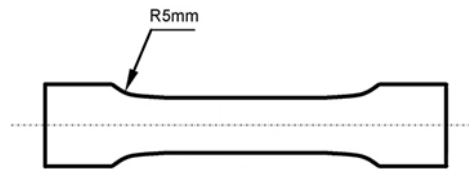
b)

12. ábra. Hídképződési teszt eredményei: a) mérsékelt forraszthatóság;  
b) megfelelő forraszthatóság

## 2.3. Mechanikai minősítő vizsgálatok

### 2.3.1. Forraszanyagok minősítése

A forraszok mechanikai vizsgálatát három csoportra oszthatjuk a vizsgált minta szempontjából. Legegyszerűbb, amikor tömbi forraszmintákon mérünk. Ilyenkor a szakítószilárdság méréséhez a jellegzetes, „kutyacont” alakú mintát (13. ábra) használják. A minta egyik végét rögzítik, míg a másik végét szakadási húzzák. A szakadáskor mért mechanikai feszültség (emlékezzünk a mérnöki- és a valós feszültség közötti különbségre) a szakítószilárdság. A mért mechanikai szilárdság pusztán a forraszötvény tulajdonságaitól függ. Ólomtartalmú és ólommentes ötvözetek összehasonlítását a 2. táblázat tartalmazza.



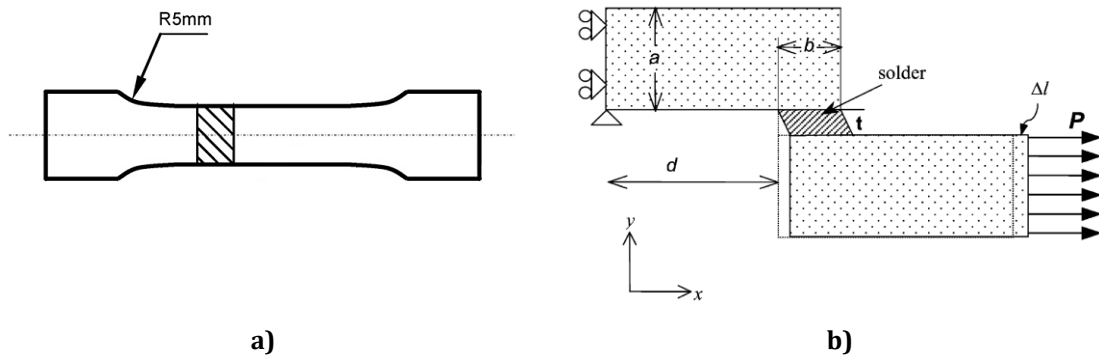
13. ábra. Mérőminta szakítószilárdság vizsgálatához

2. táblázat. Ólomtartalmú és ólommentes ötvözetek mechanikai paraméterei

	Sn63Pb37	SAC305
E [GPa]	35	56
G [GPa]	12.5	20
Szakító szilárdság [MPa]	40	55
Nyírási szilárdság [MPa]	28	34

A következő csoport, amikor forrasztott kötés jellegű mintán végezzük a mechanikai vizsgálatokat. Ekkor a minta alakja nagyon hasonló a 13. ábrán mutatotthoz; a különbség, hogy a mérőminta két végét forrasztott kötés köti össze (14. a. ábra). Forrasztott kötés jellegű mintát nyírási szilárdság vizsgálatára is alkalmaznak. Ekkor két lap között alakítanak ki golyó formájú forrasztott kötetést (hasonló a BGA forrasztáshoz), majd a mérés közben az egyik lapot rögzítik, a másik lapot pedig laterálisan elmozdítják (14. b. ábra), ezzel nyírási feszültséget generálva a mintában. Mindkét mérés esetén, és általában a kötés jellegű minták

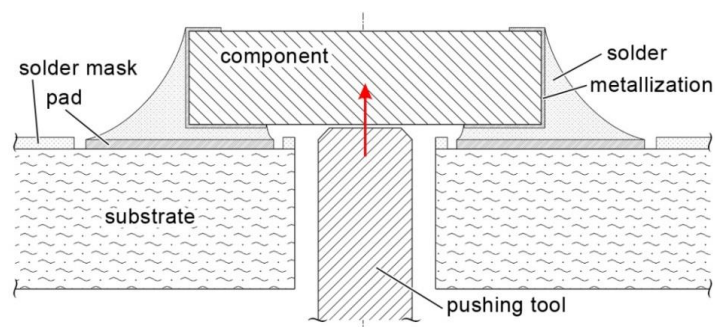
mérésére igaz, hogy a mért szilárdságot nem csak a forrasztóvözet mechanikai tulajdonságai befolyásolják, hanem a forrasztás közben létrejött intermetallikus vegyületek a forrasztásban (pl. forrasztási profil hűtési rátája), valamint az intermetallikus réteg tulajdonságai is, melyre hatással van az alkalmazott felületfémezés is.



**14. ábra. Forrasztott kötés jellegű minták minősítése: a) szakítószilárdság mérése; b) nyírási szilárdság mérése**

A harmadik típus, amikor valós forrasztott kötésekben végezzük el a mechanikai vizsgálatokat. Ekkor az előbb említetteken kívül a forrasztott kötés alakja is hatással van a mért mechanikai szilárdságra, pl. SMD ellenállásnál a túl sok forrasztó domború kötés eredményez, amely alacsonyabb szilárdsággal rendelkezik, mint a homorú kötés. Valós forrasztott kötések minősítésekor a teherhordó felszín meghatározása akár terhelés előtt, akár terhelés után általában nem lehetséges, vagy nagyon nehézkes lenne. Ezért ilyen esetekben a kötés mechanikai szilárdságát erővel jellemzik.

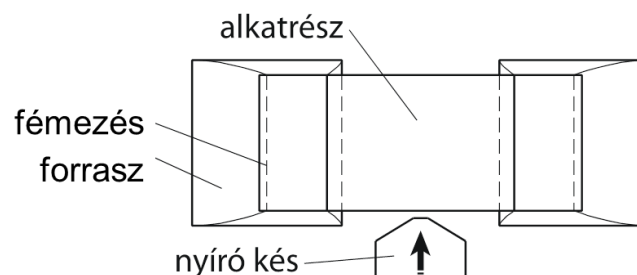
SMD ellenállások kötéseinek szakítószilárdságát úgy lehetséges mérni, hogy a szerelőlemezbe furatot készítünk, és ezen keresztül támadjuk meg az alkatrésztestet, húzófeszültséget keltve a forrasztásban (15. ábra).



**15. ábra. SMD ellenállás kötésének szakítószilárdsági vizsgálata**

A 15. ábrán mutatott vizsgálat alkalmazhatóságát az alkatrészméretetek csökkenése korlátozza. Pl. egy 0603-as méretkódú ellenállásnál a következő méretekkel számolhatunk. Az alkatrész hossza 1 500  $\mu\text{m}$ , alsó oldali fémezés hossza hozzávetőleg 300  $\mu\text{m}$ . A két forrasztási felület közötti távolság így 900  $\mu\text{m}$ . A fúrás pozícióbizonytalansága miatt kb. 700  $\mu\text{m}$ -es furatot tudunk készíteni úgy, hogy a forrasztási felületet és a kötést nem sértjük meg. Ebbe nagyságrendileg 300–400  $\mu\text{m}$ -es terhelőszerszámot tudunk úgy bevezetni, hogy a furatfaltól 150–200  $\mu\text{m}$ -es távolságot tartunk. A szerelőlemez vastagsága 1,5–2 mm; a terheléshez legalább 5 mm-es szerszámot kell alkalmazni. A 0603-as méretkódú ellenállás erővel jellemzett szakítószilárdsága kb. 50 N. Tehát egy 5–10 mm hosszú, 300–400  $\mu\text{m}$  átmérőjű szerszámnak (gyakorlatilag tűnek) 5 kg terhelés kellene elbírnia és átvezetnie az ellenállásra. Ez gyakorlatilag kivitelezhetetlen, hamarabb hajolna el a szerszám/tű.

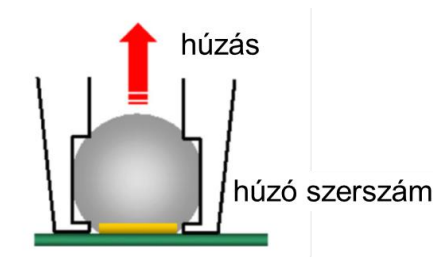
A fúrás szükségességének elkerülése, és a mérés könnyebb kivitelezhetősége érdekében, SMD ellenállások kötéseinél inkább nyírási szilárdságot szokás mérni. Ebben az esetben oldalirányból támadjuk meg az ellenállás testét egy nyírószerszámmal, nyírókéssel (16. ábra). A beállításoknál ügyelni kell a megfelelő késmagasságra; ha kés magasabban helyezkedik el, mint az alkatrészttest magasságának fele-harmada, akkor nem csak nyíróterhelés keletkezik, hanem a szerszám forgatja is az alkatrészt, csavarási terhelést okozva. Ha a terhelőszerszám viszont túl alacsonyan helyezkedik el, akkor a szerelőlemez felületi egyenetlenségeiben megakadhat, hibás mérési eredményt adva.



16. ábra. SMD ellenállás forrasztott kötésének nyírási terhelése

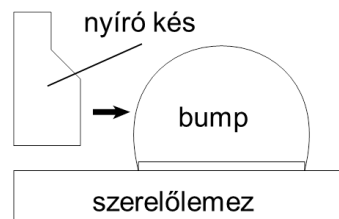
A forrasztott kötések mechanikai szilárdságának mérését BGA tokozású alkatrészek kötéseire (csak a kész alkatrész, még nincs ráforrasztva a szerelőlemezre) is alkalmazzák; a szakító- és nyírási szilárdság mérést egyaránt. A

szakítóvizsgálatkor egy kampós szerszámmal fogják meg a bump-ot, és felfele irányuló mozgattással szakítják le azt az alkatrész interposer rétegeről (17. ábra).



**17. ábra. BGA tokozású alkatrész kötésének szakítószilárdsági vizsgálata**

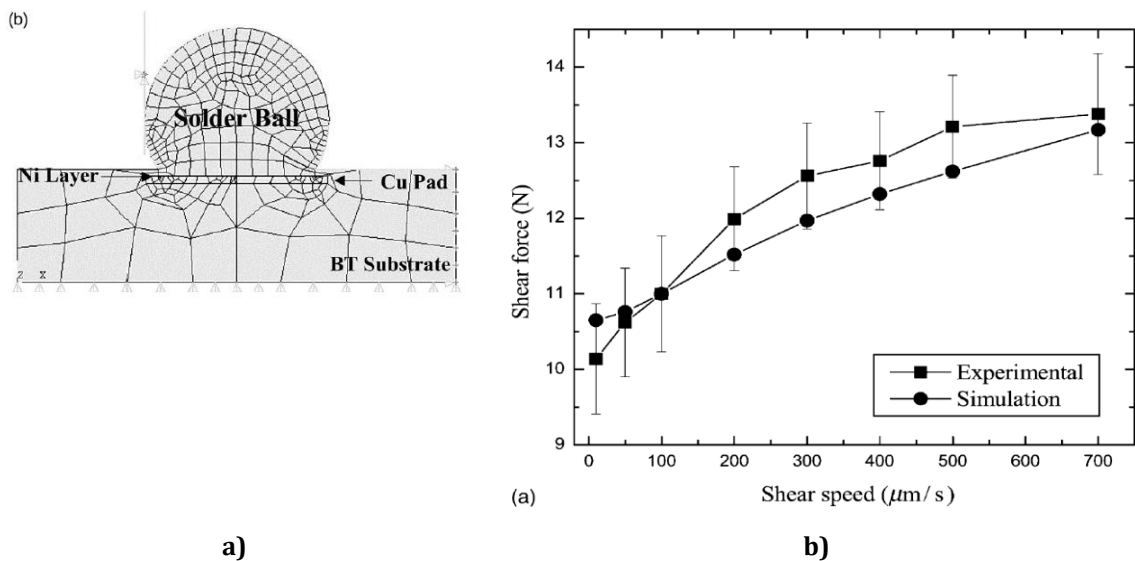
A nyírási szilárdság meghatározása pedig teljes mértékben hasonló az SMD ellenállások esetére ismertetett módszerrel (18. ábra). Itt is fontos a terhelőkés megfelelő magasságának beállítása, hogy csavarófeszültség ne ébredjen a bumpban.



**18. ábra. BGA tokozású alkatrész kötésének nyírási szilárdsági vizsgálata**

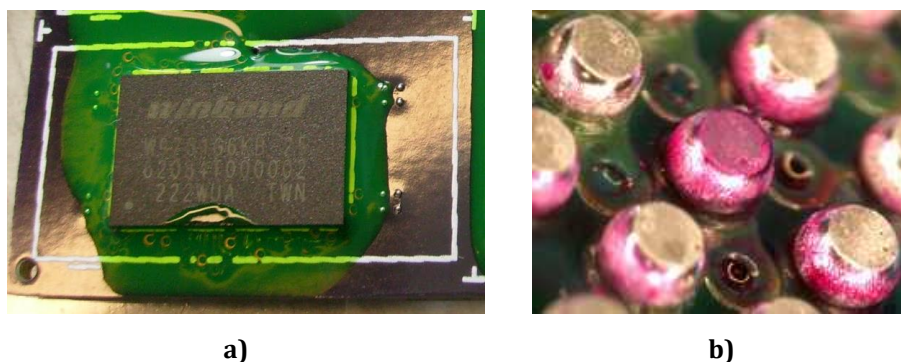
A BGA tokozású alkatrész kötéseinél a teherhordó felszín kezdeti értékét könnyű meghatározni, egyezik a forrasztási felület felszínével, ezért itt mérnöki feszültséggel is szokás jellemezni a szilárdsági értéket.

Mind az SMD ellenállások, mind a BGA tokozású alkatrészek kötéseinél mért szilárdsági értéket befolyásolja a terhelés sebessége. Minél nagyobb sebességgel terheljük a forrasztott kötést, az annál jobban felkeményedik, és nagyobb szilárdsági értéket mutat (19. ábra.). Ezért a terhelés sebességét szabványosítani szokták, ajánlott értéke ilyen alkatrészkötések esetére  $\sim 200 \mu\text{m/s}$ . A lenti ábrán egy BGA tokozású alkatrészben ébredő feszültség mechanikai modellezését végezték el végeelem módszerrel, és a szimulációs eredményeket hasonlították össze mérési eredményekkel. A szimulációs eredmények megfelelően illeszkedtek a mérési eredményekre, a modellt így validálták.



**19. ábra. BGA tokozású alkatrész mechanikai tulajdonságainak vizsgálata: a) a végelem modell hálózása; b) a nyírási szilárdsági értékek**

A szerelőlemezre beforrasztott BGA tokozású alkatrészek kötéseiben, pl. emelt hőmérsékletű gyorsított élettartam-vizsgálatok során, kialakuló repedések vizsgálatára az ún. dye-penetration, festékbehatolási tesztet alkalmazzák (20. ábra). A vizsgálat lépései a következők. 1) az alkatrészt gáttal (polimer) vesszük körül. 2) Kiöntjük a festékanyaggal, amely a kapilláris hatás következtében behúzódik az alkatrész alá, és a kialakult repedésekbe is; követelmény, hogy a festékanyag jól nedvesítse a forraszbumpokat, és az interposer/NyHL felületét is. 3) A festékanyagot hozzávetőleg 24 órán keresztül szárítjuk. 4) Az alkatrészt eltávolítjuk; ahol az alkatrész kötésében repedés volt, ott lecsökken a teherhordó felület és kötés a repedés mentén törik, a festék nyomai pedig láthatóvá válnak

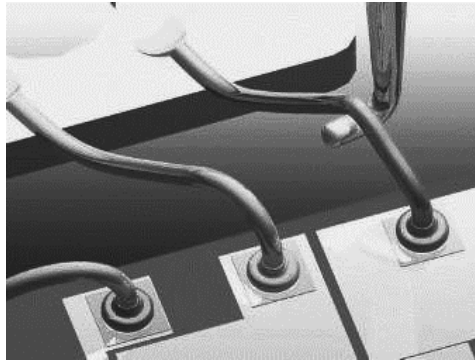


**20. ábra. Festékbehatolási teszt: a) alkatrész kiöntése festékkel; b) a festék nyomai a repedéseken az alkatrész eltávolítása után**



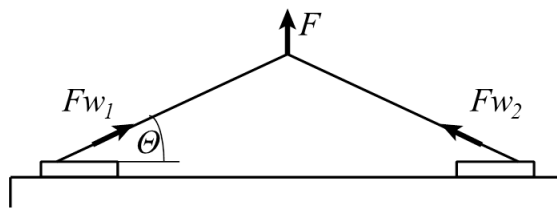
### 2.3.2. Mikrohuzalkötések mechanikai minősítése

A mikrohuzalkötések esetén is van lehetőség szakító- valamint nyírási szilárdság mérésére. A szakítóvizsgálatot úgy végzik, hogy egy kampót illesztenek a huzalhurokba, és felfele irányuló mozgattal húzófeszültséget keltenek a mikrohuzalban (21. ábra).



21. ábra. Mikrohuzalkötés szakítószilárdságának mérése

A szakítási erő mérésekor időnként meg kell arról győződni, hogy a mért erőből számítható mérnöki feszültség nagyságrendileg egyezik-e a huzal szakítószilárdságával. A szakításkor a mikrohuzalban ébredő mérnöki feszültség egyszerűbb struktúrára viszonylag könnyen számítható. A modell a következőket feltételezi: a mikrohuzal két kötése azonos magasságban van és a huzalt a közepénél fogva szakítjuk, azaz a rendszer szimmetrikus a terhelés tengelyére (22. ábra). A huzalban ébredő erő ekkor (2).



22. ábra. A mikrohuzal szakításakor a huzalban ébredő erő

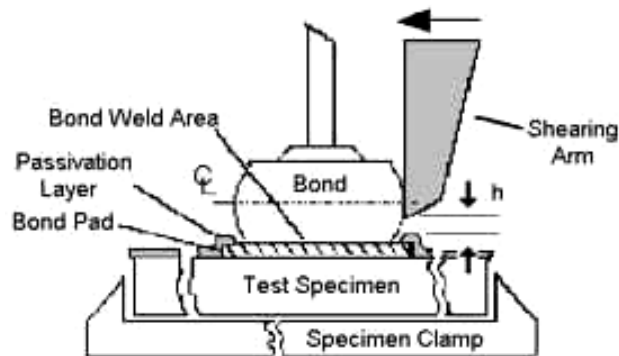
$$F_{w_1} = F_{w_2} = \frac{F}{2 \cdot \sin \Theta} \quad (2)$$

A huzalban ébredő mechanikai feszültség pedig (3):

$$\sigma = \frac{F_w}{A} = \frac{F_w}{r^2 \pi}, \quad (3)$$

ahol  $r$  a mikrohuzal sugara.

A mikrohuzalkötések nyírási szilárdságának mérése pedig teljes mértékben hasonló a BGA kötések szilárdsági méréséhez. A mikrohuzalkötést oldalról támadják meg egy terhelőszerszámmal, nyírási feszültséget keltve a kötésben (23. ábra).

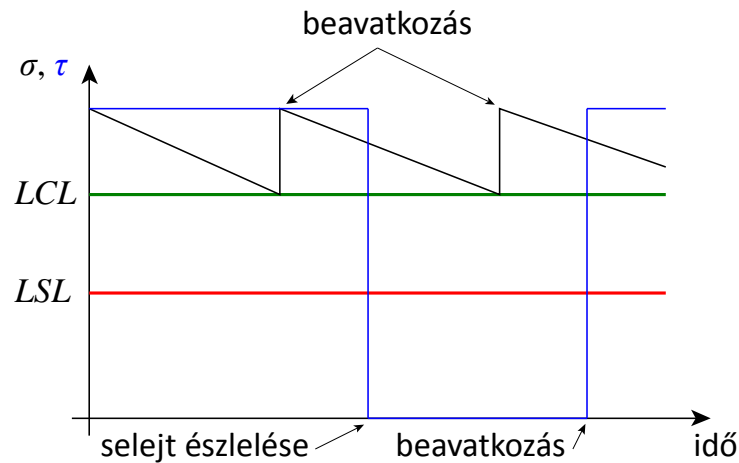


23. ábra. Termoszónikus golyóskötés nyírási szilárdságának mérése

A nyírási szilárdság mérését ultrahangos, ékes kötések esetére viszonylag könnyű elvégezni; az ékes kötés hossza 1–2 mm, melyet a nyírószerszámmal könnyen tudunk terhelni. A termoszónikus golyós kötésekre már nehezebb a mérés elvégzése. A golyós kötés kis méretei (30–40  $\mu\text{m}$ ) megnehezítik a nyírószerszám pozícionálását; a pozícionáláshoz mikroszkópra van szükség, ami lassítja is a mérés menetét. A nyírási szilárdság mérésének nagy előnye, hogy közvetlenül a mikrohuzalkötésről nyerünk információt. Ezzel szemben a szakítószilárdság mérésének elvégzése ugyan könnyű mind ultrahangos és termoszónikus kötések esetére, viszont nem nyerünk közvetlen információt a kötésről. Ennek oka, hogy a szakítószilárdság mérésekor az elfogadható szilárdság mértéke az, hogy a huzal szakad el, és nem a kötés törik el vagy válik fel a kontaktusfelületről. Tehát „go/no-go” jellegű elfogadási feltételt tudnak csak szabni. Az ilyen jellegű elfogadási feltételek a statisztikai folyamatszabályzásnál jelentenek problémát.

Amennyiben a kötésről közvetlen, kvantitatív információnk áll rendelkezésre, az adott paraméterekhez (pl. nyírási szilárdság) nem csak elfogadási határokat tudunk definiálni, hanem beavatkozási határokat is. Amennyiben a gyártás során, az idő folyamán a nyírási szilárdság csökken, a folyamatot felül tudjuk vizsgálni a beavatkozási határérték elérésekor (24. ábra). Ezáltal az elfogadási határérték elérése előtt tudunk javítani a folyamaton, pl. karbantartással, és selejtet nem

termelünk. Amennyiben a huzalkötésről nem áll rendelkezésre közvetlen információ, akkor nem tudunk beavatkozási határt definiálni, pl. a szakítószilárdság értékére. A selejtes termékeket ekkor is azonosítjuk (nem a huzal szakad el, hanem a kötés válik fel pl. a szakítóvizsgálatoknál), de idő telhet el az azonosítás és a folyamatba beavatkozás között, ami alatt selejtet termelhetünk.

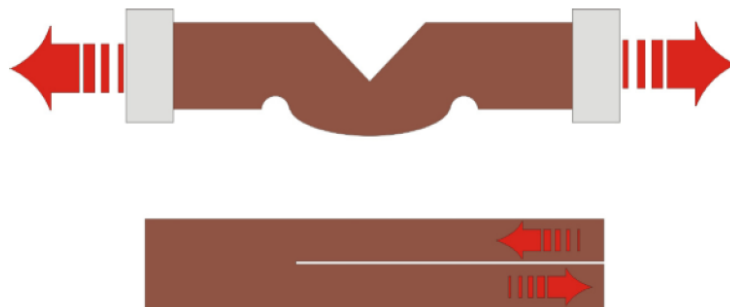


24. ábra. Mikrohuzalkötési folyamat szabályzása (LSL az alsó elfogadási határ, LCL /lower control limit/ az alsó beavatkozási határ)

## 2.4. Hajlékony hordozós áramkörök minősítése

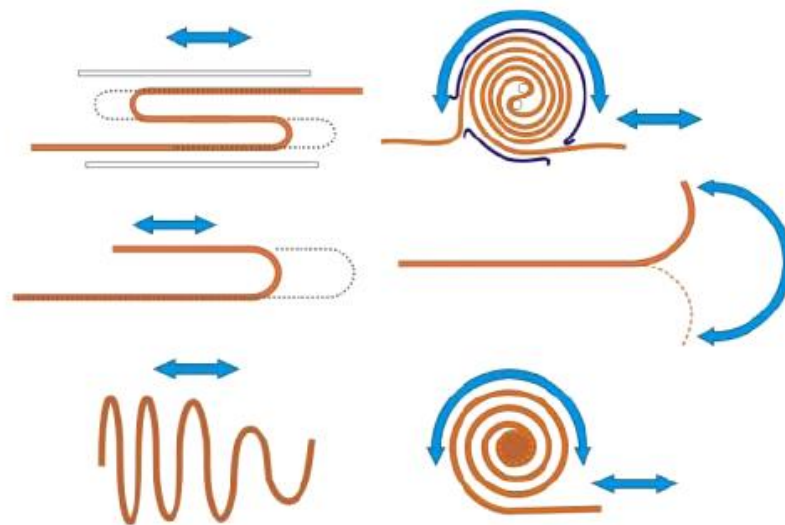
### 2.4.1. Mechanikai minősítések

A hajlékony hordozós áramkörök szakítószilárdságának vizsgálatára olyan, szalagszerű mintát használnak, amely bevágást tartalmaz a hosszanti irányba. A vizsgálat során a hajlítás mentén a hordozót szétnyitják, és a két oldaláról terhelik (25. ábra). Ezzel a vizsgálati módszerrel meghatározhatják a hajlékony hordozók relatív megnyúlását, illetve Young modulusát.



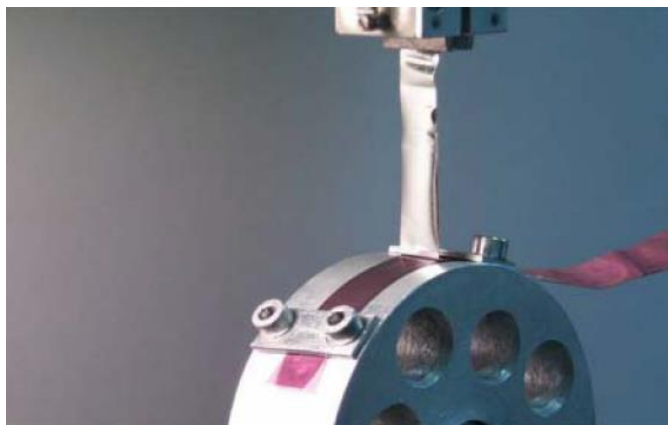
25. ábra. Hajlékony hordozó szakítóvizsgálata

A hajlékony hordozón kialakított rézréteg mechanikai minősítésére több módszer is elterjedt. Egyik jellemző módszer a dinamikus hajlítási vizsgálat, míg a másik a rézlefejtési vizsgálat. Utóbbi a merev hordozós áramkörök rézrétegeinek minősítésére is alkalmazzák. A dinamikus hajlítási vizsgálatnál a hajlékony hordozót a (26. ábrán) mutatott módok valamelyikét alkalmazva, megadott amplitúdóval és frekvenciával sorozatosan meghajlítják. A vizsgálat eredménye az a hajlítási ciklusszám, amit a rézréteg szakadás nélkül kibír.



**26. ábra. Hajlékony hordozós áramkörök hajlítási módjai mechanikai minősítés céljából**

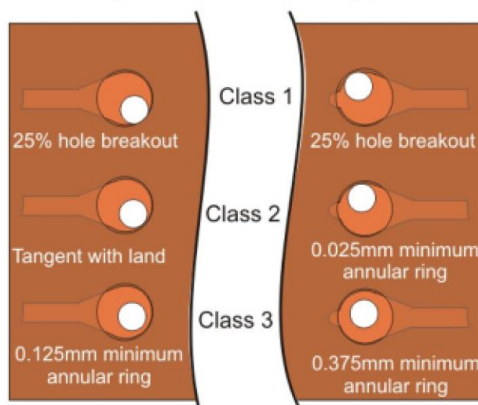
A rézlefejtési vizsgálat esetén a hordozón lévő rézréteget csipesszel megfogják, és elkezdik felfelé húzni a hordozóról, miközben a húzáshoz szükséges erőt mérik, és a felszakított rézréteg szélességével osztva, fajlagos lefejtési erőt adnak meg. A szabvány ún. péklapát formát javasol erre a vizsgálatra, ahol a „lapát nyele”, a lefejtett rézréteg, szélessége 4 mm. A „lapát” rész pedig a csipesz általi befogásra szolgál. Hajlékony hordozók esetén van lehetőség forgótárcsára rögzíteni (27. ábra.) a hordozót, amely lehetővé teszi, hogy a szakított rész mindig a húzószerszám alatt helyezkedjen el, és így a rézréteget mindig függőlegesen húzzuk. Merev hordozós áramkörök esetén a hordozót vagy csúszócsapágyas munkaasztalra rögzítik (ekkor a rézréteget mindig függőlegesen húzzuk), vagy a mért erőt korrigálják a függőlegestől való eltérés szögével a lefejtés közben.



27. ábra. Rézlefejtési-szilárdság mérés hajlékony hordozó esetére

#### 2.4.2. Furatszerelésre alkalmas hajlékony hordozós áramkörök hibajelenségei, a hőterheléses vizsgálat

Egyik jellegzetes hibajelensége a hajlékony hordozós áramköröknél a furatszerelt alkatrészek számára kialakított furatok pozícióhibája. Itt egyébként inkább a rajzolat pozícióhibájáról beszélhetünk (félév elején beszéltük, hogy az alaktartás és a rajzolatpontosság rosszabb a hajlékony hordozóknál). A furatok pozícióhibájának megengedett mértékét tekintve az áramköröket három minőségügyi osztályba sorolhatjuk. Fémezett furatok esetén, Class 1 osztálynál a furat felületének 25%-a lóghat ki a forrszem felületéből; Class 2 osztálynál a furat peremének érintenie kell a forrszem ívét, míg Class 3 osztály esetén legalább 125  $\mu\text{m}$ -es maradékgyűrűnek kell jelen lennie (28. ábra). Nem fémezett furatok esetére hasonlóak az elvárások, kicsit más paraméterértékekkel.



28. ábra. Megengedett furatpozíció-hibák hajlékony hordozós áramkörök esetére

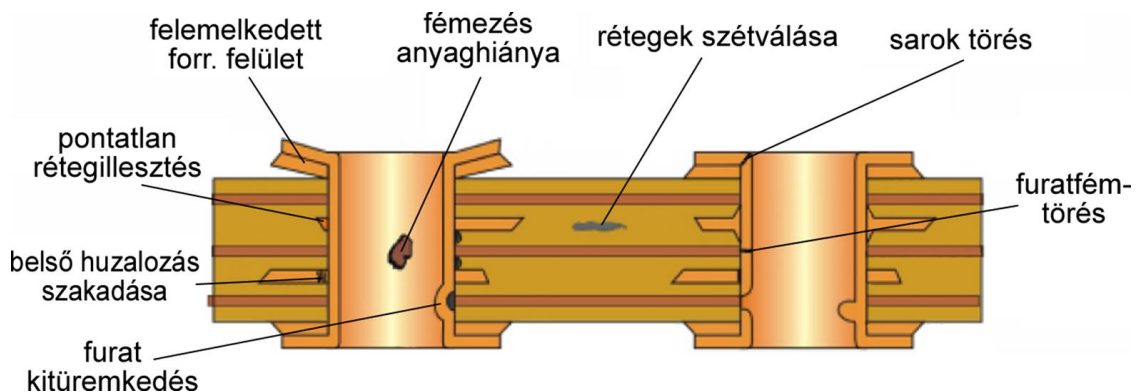
Amennyiben a forrasztási felületek védőfémezése HASL (hot air solder leveling – tűziónozás), jellegzetes hibajelenség, hogy a bevonat bekúszik a fedőréteg alá. A

túziónozás úgy készül, ahogy már beszéltünk is róla, hogy a rajzolatkialakítás után, a már forrasztásgátló maszkot is tartalmazó hordozót forraszba mártják, majd a kiemelésnél a forraszfelesleget forró levegőkéssel eltávolítják. Amennyiben a fedőréteg tapadása nem megfelelő az alaphordozóhoz, a forraszba mártás során az el tud válni a hordozótól, és a forrasz be tud kúszni alá (29. ábra).



**29. ábra. HASL védőfémezés kialakítása során a forrasz a fedőréteg alá kúszik**

További kritikus hibajelenség, amikor a furatfémezésben hiány van. Ezt, és még további hibajelenségeket hőterheléses vizsgálattal szokták tanulmányozni. A hordozót 10 másodpercre 289 °C-os forraszba mártják, és vizsgálják a kialakult hibajelenségeket (30. ábra).



**30. ábra. Hajlékony hordozós áramkör hibajelenségei hőterheléses vizsgálat hatására**

Az ábrán mutatott hibajelenségek közül a forraszfelület felemelkedése (pad-lifting) és egyes esetekben a furat-pad élének törése optikai mikroszkóppal vizsgálható. A belső hibajelenségek, mint pl. a belső huzal szakadása, a furatfémezés repedése, a fémzés anyaghiánya és a furat kitüremkedése röntgenes ellenőrzéssel vizsgálható, leginkább döntött szögű detektor alkalmazásával. A rétegek szétválása, delaminációja pedig akusztikus mikroszkóppal elemezhető (polimerek röntgennel nem vizsgálhatók az alacsony abszorpció miatt).