

Instrumenta  
Negative side  
to -11.2V to

# Elektronikai gyártás



## **Impresszum**

Kiadó: Ábrahám László, NI Hungary ügyvezető igazgató, AmCham Elektronikai Gyártók Bizottság elnöke

Kontakt információ: AmCham Hungary, 1051 Budapest, Szent István tér 11., 6. emelet, Tel: 36 1 266-9880, Email: [info@amcham.hu](mailto:info@amcham.hu), [www.amcham.hu](http://www.amcham.hu)

A jelen mű egésze, illetve önálló részei változatlan formában (iskolai) oktatási célra, egyéni és csoportos képzés céljára Magyarországon szabadon felhasználhatók, feltéve, hogy a felhasználás még közvetetten sem irányul jövedelemszerzésre vagy jövedelem növelésére.

Azokat a fotókat, ahol a forrás nincs külön feltüntetve, a tananyag összeállításában közreműködő cégek készítették és bocsátották az AmCham rendelkezésére a tananyagban való felhasználásra.

A mű terjesztése (ideértve a letöltött vagy digitalizált mű számítógépes hálózat útján mások számára elektronikus formában történő elérhetővé tételét), fordítása, átdolgozása kizárólag a szerzői jog jogosultjának engedélyével történhet.

# **Elektronikai gyártás**

2. kiadás

**Debrecen**  
**2019**

Tisztelt Olvasó!

Ezt a kiadványt az Amerikai Kereskedelmi Kamara (AmCham) Elektronikai Gyártók Bizottsága állította össze annak elősegítése érdekében, hogy az ágazatban dolgozó munkatársak rendelkezésére álljon egy egységes, átfogó, könnyen tanulható tananyag. Célunk, hogy a tananyaggal hozzájáruljunk a szakma legalapvetőbb ismereteinek egységes elsajátításához, megkönnyítve ezzel mind az oktatók és a tanulók, mind a munkáltatók helyzetét.

A tananyag első kiadása 2010. novemberben jelent meg. A kiadványt az Elcoteq Magyarország Kft., a Flextronics International Kft., az IBM Data Storage Systems Kft., a Jabil Circuit Magyarország Kft., az NI Hungary Kft., a Robert Bosch Kft., és a Budapesti Műszaki Egyetem Elektronikai Technológia Tanszék munkatársai állították össze.

Jelen kiadvány a 2010-ben összeállított tananyag 2., frissített kiadása. Ezúton szeretnénk megköszönni a tananyag második kiadásában közreműködő Continental Automotive Hungary Kft., Flex, IBM, NI Hungary és Sanmina SCI munkatársainak a szakmai munkáját.

E kiadvány egyik új, tartalmi eleme, „A jövő ipara” című fejezet, amely röviden bemutatja a most zajló digitális forradalom által létrehozott új technológiákat is (pl. dolgok internete, felhőalapú informatika, Big Data). Az ipar átalakulásában az elektronika kulcsszerepet játszik és erőteljesen meghatározza a többi iparág fejlődését, amely alapján különösen felértékelődik az elektronikai tudás és ismeretanyag.

Röviden, néhány adat segítségével szeretnénk bemutatni az elektronikai gyártóipar néhány jellemzőjét és súlyát a magyar gazdaságban. (Az összefoglaló alapját a KSH adatsorai, ipari becslések, illetve a Helyzetkép az iparról 2017, KSH kiadvány adják.)

- **A magyar ipar egyik meghatározó, stratégiai ágazata az elektronikai iparág.** 2017-ben a négy gépipari alágazat (járműgyártás; gép, gépi berendezés gyártása; a számítógép, elektronikai, optikai termék gyártása; és a villamos berendezés gyártása) együttesen az ipari termelés majdnem felét adta. A számítógép, elektronikai, optikai termék gyártás alágazat súlya ugyan az elmúlt évtizedben csökkent, de 2017-ben **még mindig az ipar második legnagyobb alágazata 11,4%-kal.** A legnagyobb arányt a járműgyártás képviseli 27,4%-kal.



- Európai viszonylatban, az elmúlt évekhez hasonlóan Magyarország 2017-ben is az élmezőnyben szerepelt az Európai Unió (EU-28) országai között az ipar (víz- és hulladékgazdálkodást is tartalmazó) 26,6%-os részesedésével az összes bruttó hozzáadott értékhez való hozzájárulásában (az uniós átlag 19,6% volt). Az ipar nemzetgazdasági súlya 2000 óta – folyó áron számítva – 23–27% közötti tartományban mozgott, a legnagyobb arányt 2015-ben (26,6%), a legkisebbet (23,5%) 2009-ben, a válság mélypontján érte el. A legnagyobb ipari részesedést Írország (34%), a legkisebbet Luxemburg (7,2%) adta. Csak a feldolgozóipart nézve Írország (32,3%), Csehország (27,1%) és Szlovénia (23,8%) után a negyedik helyet foglaltuk el 23,6%-kal.
  - **Beruházások tekintetében, 2017-ben a feldolgozóiparban a legnagyobb mértékű növekedés a számítógép, elektronikai, optikai termék gyártásában történt (49%),** amit együttesen eredményezett zöldmezős nagyberuházás, illetve az elektronikai alkatrész, áramköri kártya gyártásával foglalkozó vállalkozások üzemépítő és kapacitásbővítő tevékenysége, mint például az autóelektronikai termékekhez gyártott részegységek előállításához kapcsolódó gép- és berendezésbeszerzések. Az elektronikus fogyasztási cikk és a számítógép, perifériás egység gyártása területén a megnövekedett vevői igények és új projektek eredményezték az összességében kiemelkedő beruházási aktivitást.
- **Elektronikai ágazat besorolása:** A '*számítógép, elektronikai, optikai termék gyártása*' besorolás alatt érthető a számítógép, számítógép periféria, híradás-technikai berendezés és hasonló elektronikai termék, valamint e termékek alkatrészeinek gyártása. Jellemző ezen ágazat termelési folyamataira az integrált áramkörök tervezése és használata, illetve a mikroelektronikai technológia szakosodott alkalmazása. TEÁOR besorolás alapján: *26.11 Elektronikai alkatrész gyártása:* Ebbe a szakágazatba tartozik a félvezetők és más alkatrészek gyártása elektronikai alkalmazásokhoz; *26.12 Elektronikai áramköri kártya gyártása:* Ebbe a szakágazatba tartozik az alkatrészekkel beültetett nyomtatott áramköri lap gyártása, az alkatrészek beültetése a nyomtatott áramköri kártyába, valamint a csatlakozókártya-modul gyártása.
- **Az elektronikai ágazatban a nagy, nemzetközi vállalatok működése meghatározó.** 2017-ben az elektronikai ágazatban regisztrált vállalkozások száma 1752, akik közel 48 000 főt foglalkoztatnak. Az ágazatban 29, többnyire nemzetközi háttérű nagy foglalkoztató cég működik (250 vagy annál több munkavállalóval), akik az ágazaton belül, a termelés 94 százalékát állítják elő.

- Az elektronikai iparág volumenindexe **25,7%-os** növekedést mutat, ami **alágazatok összehasonlításban a legmagasabb** 2018-ban (2015-ös indexeket alapul véve) és messze túlhaladja az ipari átlagot (12,7%).
- **Az elektronikai ágazat elsősorban exportra termel.** A belföldi értékesítésre előállított termelés csekély, értéke 2017-ben közel 177 milliárd forint, miközben az ágazat **exportjának értéke meghaladta a 3178 milliárd Ft-ot**, ami a teljes ipari export értékének (21.8 milliárd Ft) a 14,6 százaléka.

Reméljük, hogy jelen kiadványunk hozzájárul az iparági ismeretek elsajátításához. Előre is köszönjük, ha megosztják velünk a kiadvánnyal kapcsolatos észrevételeiket és visszajelzéseiket.

Debrecen, 2019. május

Dr. Ábrahám László

Ügyvezető igazgató, NI Hungary Kft.

az AmCham Elektronikai Gyártók Bizottságának elnöke

## Köszönetnyilvánítás

Az AmCham szeretné megköszönni az alábbi cégeknek a tananyag 2. kiadásának összeállítását:



Continental Automotive Hungary Kft.



Flex



IBM Data Storage Systems Kft.



NI Hungary Kft.



Sanmina-SCI Magyarország Kft.



# Tartalomjegyzék

<b>Impresszum</b> .....	2
<b>Tartalomjegyzék</b> .....	8
1. BEVEZETÉS .....	13
2. AZ ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIÁBAN ALKALMAZOTT ALKATRÉSZEK .....	16
2.1. Furatszerelt és felületszerelt alkatrészek .....	16
2.2. Diszkrét alkatrészek .....	16
2.2.1. Passzív alkatrészek .....	17
2.2.2. Aktív alkatrészek .....	19
2.3. Tokozott, integrált alkatrészek .....	20
2.4. Nyomatott huzalozású hordozók típusai, azok tulajdonságai .....	22
2.5. Mechanikus alkatrészek .....	26
3. FURATSZERELT ALKATRÉSZEK SZERELÉSTECHNOLÓGIÁJA .....	27
3.1. Az alkatrészek osztályozása a kivetők típusa szerint .....	27
3.2. Axiális és radiális huzalkivezetésű alkatrészek beültetése .....	31
3.3. DIP tokozású alkatrészek beültetése .....	34
3.4. Hullámforrasztás .....	37
3.5. Szelektív forrasztás .....	51
3.5.1. Pontszerű szelektív forrasztás: .....	51
3.5.2. Multiwave szelektív forrasztás: .....	52
3.5.3. Merítő (bélyeg) szelektív forrasztás: .....	54
3.5.4. A szelektív forrasztás hibajelenségei .....	55
4. A FELÜLETI SZERELÉSTECHNOLÓGIA .....	58
4.1. Forraszpasztá-felviteli technikák .....	59
4.1.1. Diszpenzálás, cseppadagolás .....	60
4.1.2. Stencilnyomatás – stencil típusai .....	63
4.1.3. A stencilnyomatás folyamatparaméterei .....	71
4.1.4. A stencilnyomatás hibái .....	76
4.2. Alkatrész-beültetés .....	83
4.2.1. A beültetőgépek csoportosítása .....	84
4.2.2. A beültetőgépek felépítése .....	91
4.2.3. Az alkatrész-beültetés hibái, azok kiküszöbölési lehetőségei .....	93
4.3. Újraömlesztéses forrasztás .....	95
4.3.1. Újraömlesztő kemencék típusai, azok felépítése .....	95
4.3.2. Az újraömlesztéses forrasztás hőprofilja, folyamatparaméterek .....	102

4.3.3.	Az újraömllesztéses forrasztás hibái, azok kiküszöbölési lehetőségei .....	112
4.4.	Felületszerelt alkatrészek hullámforrasztása .....	117
4.4.1.	SMD ragasztók technológiája .....	117
4.4.2.	Speciális hullámformák.....	119
4.4.3.	Hőprofilmérés.....	120
4.4.4.	A hullámforrasztás hibajelenségei, és azok kiküszöbölési lehetőségei:.....	123
4.5.	Pin-in-paste technológia.....	126
4.5.1.	A forrasztási folyamat fázisai.....	128
4.5.2.	Stenciltervezés PIP technológiához .....	128
4.5.3.	Zárt nyomtatófejes pasztafelvitel.....	131
4.6.	A chip-on-board technológia, a huzalkötések .....	133
4.6.1.	Ékes kötés .....	134
4.6.2.	Golyós kötés .....	136
4.6.3.	Kötési felületek szennyeződése .....	139
4.6.4.	Minősítési módszerek.....	139
4.7.	BGA alátöltés (BGA underfill) .....	142
5.	KÉZI FORRASZTÁS.....	144
5.1.	Kézi forrasztás eszközei, forrasztóállomások .....	144
5.1.1.	Forrasztóállomás típusok.....	144
5.1.2.	A pákacsúcsok.....	147
5.1.3.	Hőlégfúvó berendezés.....	151
5.1.4.	Forraszanyag.....	152
5.1.5.	Folyasztószer .....	153
5.2.	Kézi forrasztás folyamata .....	156
5.2.1.	Kiforrasztási eljárások.....	158
5.2.2.	Kiforrasztáshoz szükséges eszközök .....	159
5.2.3.	Ólommentes kézi forrasztás .....	162
5.3.	BGA tokok forrasztott kötéseinek javítása .....	164
5.3.1.	A BGA javító állomások főbb részei .....	165
5.3.2.	BGA tokok javításának lépései.....	165
6.	Anyag adagolási eljárások.....	168
6.1.	Conformal coating .....	168
6.1.1.	Bevonat felviteli eljárások .....	169
6.1.2.	Felvitt bevonat szárítási eljárása .....	173
6.1.3.	Bevonat vastagság mérése .....	174
6.1.4.	Alakkövető anyagok kiválasztása, csoportosítása .....	176

<b>Felületmódosítók:</b> .....	179
6.1.5. Bevonatokra jellemző tulajdonságok .....	180
6.1.6. A bevonatolás során leggyakrabban előforduló hibák .....	180
6.2. Gasketing .....	182
6.2.1. A gasketing folyamatának lépései .....	183
6.2.2. A gasketing folyamat hibajelenségei .....	185
6.3. Potting .....	187
6.3.1. A potting folyamatának lépései.....	188
6.3.2. A potting folyamat fontos tényezői és lehetséges hibajelenségei .....	189
7. VÉGSZERELÉS – ELLENŐRZÉSEK .....	191
7.1. Ellenőrzési alapelvek, stratégiák.....	191
7.2. Forrasztott kötések szabványos minősítési kritériumai .....	192
7.3. Optikai ellenőrzések, mikroszkópok.....	198
7.3.1. Akusztikus mikroszkópia.....	198
7.3.2. Elektronmikroszkópia .....	199
7.3.3. Optikai mikroszkópia .....	201
7.4. Automatikus optikai ellenőrző berendezések.....	203
7.4.1. Nyomatott huzalozású szerelőlemezek vizsgálata .....	204
7.4.2. A felületszerelési technológia lépéseit követő vizsgálat .....	205
7.4.3. Az AOI-k általános felépítése.....	209
7.4.4. Összehasonlítás ellenőrző-berendezés típusa szerint.....	211
7.4.5. Trendek, újdonságok .....	213
7.5. Röntgenmikroszkópos ellenőrző berendezések.....	214
7.6. Végszerelés – darabolás .....	217
7.7. In-Circuit (áramköri) tesztelés .....	221
7.7.1. Tesztberendezések .....	223
7.7.2. Az ICT mérési módszerei.....	224
7.8. Funkcionális tesztelés .....	227
7.8.1. Kézi ellenőrzés .....	229
7.8.2. Automatizált tesztek.....	231
7.8.3. Javított tesztek.....	231
7.8.4. Teszt virtuális műszerekkel.....	232
7.9. ESD védelem.....	234
7.9.1. Anyagok osztályozása elektrosztatikus tulajdonságaik alapján.....	237
7.9.2. ESD védelemi rendszerek .....	238
7.9.3. Az EPA-n (Elektrosztatikusan Védett Területen) való tartózkodás szabályai .....	239

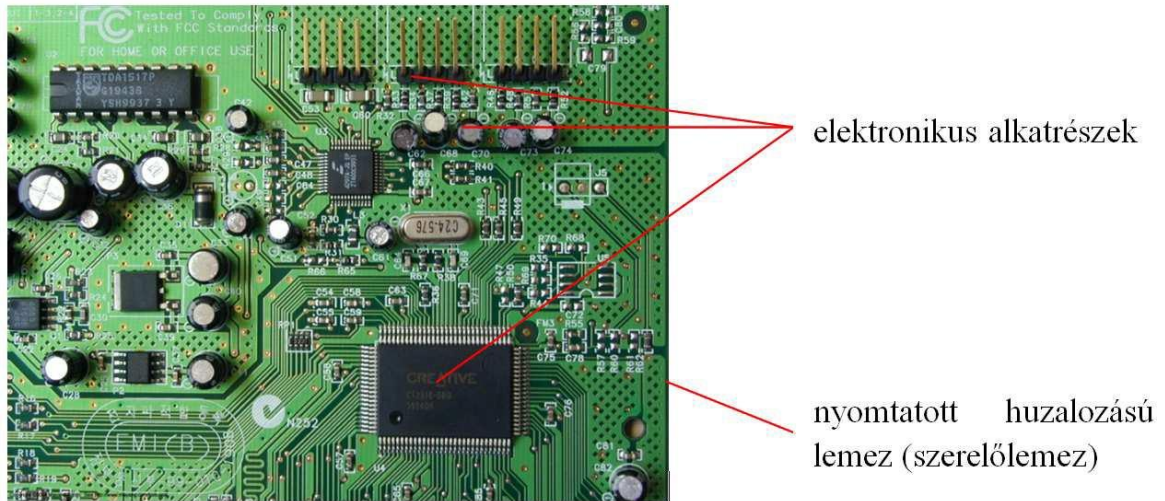


7.10.	Nedvességérzékeny alkatrészek (MSD)	243
8.	VALÓSÍDEJŰ GYÁRTÁSIRÁNYÍTÁS	245
8.1.	A gyártási folyamatok nyomonkövethetősége	246
8.2.	MES rendszerek	251
8.2.1.	Bevezetés	251
8.2.2.	Gyártásirányítási funkciók	251
8.2.3.	Erőforrások allokálása	252
8.2.4.	Finomprogramozás	252
8.2.5.	Termelési egységek irányítása	253
8.2.6.	Specifikációk kezelése	253
8.2.7.	Üzemi adatbázis kezelés, adatgyűjtés	253
8.2.8.	Munkaerő menedzsment	253
8.2.9.	Minőségmenedzsment	254
8.2.10.	Folyamat menedzsment	254
8.2.11.	Karbantartás menedzsment	254
8.2.12.	Termékkövetés	254
8.2.13.	Teljesítmény-analízis	255
8.2.14.	Anyag-, és eszköz menedzsment	255
8.2.15.	Termelés-ütemezés és felügyeleti problémák	256
8.3.	Optimális karbantartás	256
8.3.1.	Karbantartási rendszerek	256
8.3.2.	Tartalék alkatrész rendszer	261
8.3.3.	Oktatás	262
8.3.4.	Információs rendszer	262
8.4.	Munka- és vizsgálati utasítások	264
8.5.	A Lean filozófia	265
8.5.1.	A Lean alapelvek	267
8.5.2.	A Lean által használt néhány technika	267
8.6.	Six Sigma	271
8.6.1.	A Six Sigma története	271
8.6.2.	A Six Sigma definíciója	273
8.6.3.	A Six Sigma folyamat fókusza	273
8.6.4.	A Six Sigma matematikai alapja	275
8.6.5.	A Six Sigma filozófiája	275
8.6.6.	A Six Sigma szervezeti felépítése	276
8.6.7.	Six Sigmas lépései (DMAIC)	277

8.6.8.	Design Thinking .....	278
9.	A JÖVŐ IPARA – IPAR 4.0. ....	280
9.1.	Az ipari forradalmak története .....	280
9.2.	Az Ipar 4.0 elemei .....	282
9.2.1.	Információk digitalizálása .....	282
9.2.2.	Adat feldolgozás, elemzés .....	285
9.2.3.	Információk biztonságos kezelése és tárolása .....	289
9.3.	Gyakorlati példák: modern technológiák az iparban .....	291
9.3.1.	SMT gyártósorok JIT anyagellátása Ipar 4.0 módszerek alkalmazásával.....	291
9.3.2.	Nyomtatási és beültetési hibák automatikus korrekciója .....	292
10.	Elektronikai hulladékok kezelése.....	293
10.1.	Hulladék fogalma, csoportosítása .....	293
10.2.	Kommunális hulladékok .....	293
10.3.	Termelési hulladékok .....	294
10.3.1.	Elektronikai hulladékok .....	295
10.4.	Veszélyes hulladékok.....	298
10.5.	Hulladékok hasznosítása .....	300
10.6.	Szabályozás.....	301
10.7.	Helytelenül kezelt hulladékok környezetkárosító következményei .....	303
10.7.1.	A talaj, talajvíz (felszín alatti vizek) és felszíni vizek szennyeződése .....	303
10.7.2.	A levegő szennyeződése .....	304
11.	Felhasznált és ajánlott irodalom.....	305

# 1. BEVEZETÉS

Az elektronikus áramkörök alapvetően az elektronikai alkatrészekből (ellenállások, kondenzátorok, integrált áramkörök), és az azok közötti villamos kapcsolatot megteremtő nyomtatott huzalozású szerelőlemezről állnak (1.1 ábra). A szerelőlemez ugyanakkor betölti az áramköri hordozó szerepét is, az alkatrészeket mechanikailag rögzíti.



1.1. ábra: Példa az elektronikus áramkörre

Napjainkban a moduláramkörök gyártástechnológiájában a felületi szereléstechika (Surface Mounted Technology, SMT) szinte egyeduralkodó szerepet ért el, részesedése az összes moduláramkörre szerelt alkatrészek viszonylatában eléri a 95%-ot. A furatszerelt technológia (Through Hole Technology, THT) elérte a határait méret, súly, költség és megbízhatóság tekintetében egyaránt. A furatszerelt technológia esetében az alkatrészek kivezetéseit fémzett falú furatba helyezik és beforrasztják a túldalonn. A kivezetéseknek ebben az esetben mechanikai szempontból megfelelően stabilnak, merevnek, vastagnak kell lennie, hogy a hordozó furataiba történő beillesztés közben ne törjenek, görbüljenek el. A furatok átmérője sem csökkenthető tetszőlegesen, a fúrószárok kb. 0,3 mm átmérő alatt már nem tudják elviselni a fúrás során rájuk ható mechanikai igénybevételeket ezért mechanikus fúrást nem alkalmaznak ennél kisebb átmérőknél sorozatgyártásban. A kivezetések sem lehetnek lényegesen kisebb átmérőjűek a furatnál, hiszen akkor a forrasztás során nem lenne kapilláris hatás, azaz a forrasz nem nedvesítené a furatot teljes hosszában, ezért az alkatrész nem lenne elég ellenálló külső mechanikai behatásokkal (pl. rezgésekkel) szemben. Ez a két paraméter (a furat mérete és a kivezetések vastagsága) szab korlátot a miniatürizálhatóságnak THT alkatrészek esetén, ami napjainkban az egyik legfontosabb szempont a készülékek előállításánál. Minél kisebb egy áramkör, az azon belül

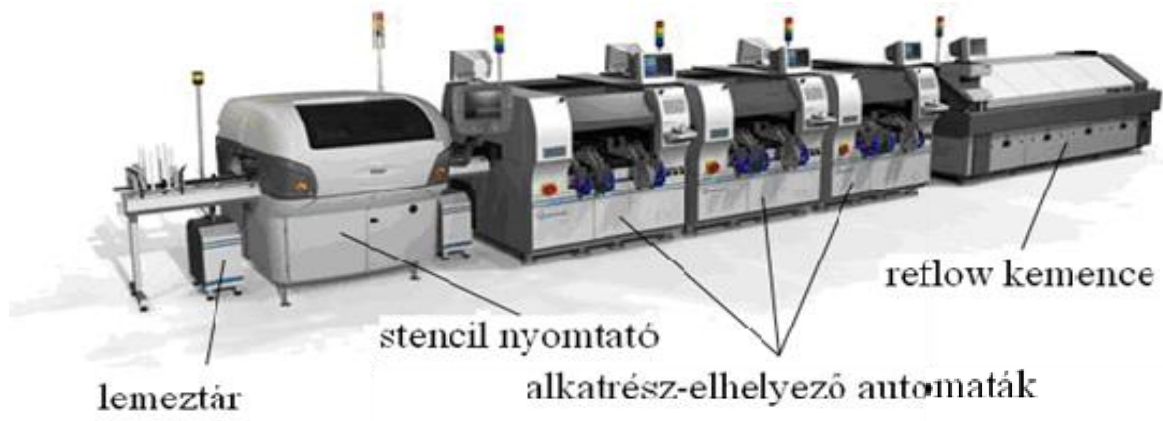


lévő funkciók egymáshoz annál közelebb helyezkednek el, a készülék ebből kifolyólag gyorsabbn tud működni. Felületi szereléstechnológia esetén a felületszerelhető alkatrészeket a hordozó felületén kialakított kontaktusokra ültetik, és forrasztással rögzítik. Ezek a forrasztások egyben a villamos kötést is biztosítják. Az alkatrészek forrasztásához tehát nincsen szükség fűrésra, a kivezetések sokkal kisebbek lehetnek, mint furatszerelt esetben. A tokozások mind a négy oldalán, sőt a tok alatt is elhelyezhetőek kivezetések, így a felületszerelt alkatrészek sokkal több kivezetésűek lehetnek, ennél fogva sokkal több vagy összetettebb funkciót ellátó áramkörök helyezhetőek el azonos felületű alkatrészekbe. Az alkatrészek egymáshoz közel helyezhetőek el, a késztermék kisebb, könnyebb és gyorsabb működésű lehet, így az előállítása is olcsóbb elsősorban a kevesebb felhasznált anyag miatt. A felületszerelési technológia (SMT) nem csak az ára, de a megbízhatóság szempontjából is előnyösebb a THT-vel szemben. Az alkatrészek kialakítása miatt két alkatrész (pl. egy ellenállás és egy kapacitás) között az átlagos anyag-anyag átmenetek száma hozzávetőleg a fele (6), a furatszerelt alkatrészek ezen paraméteréhez képest (10). Ez azért fontos, mert két különböző anyag határfelületén, sokkal nagyobb valószínűséggel alakulnak ki kontaktushibák, mint bárhol másutt. A korszerű gyártás során a hibák legnagyobb része kontaktushibára vezethető vissza, a funkcióhibák száma az összeszerelés során elenyésző, ezért az anyagátmenetek számának csökkentése rendkívül fontos, a megbízható készülékek gyártása érdekében. A felületszerelhető alkatrészek kialakítási alakjai egységesítettek, vagy legalábbis az új tokokat úgy tervezik, hogy automatákkal könnyen megfoghatók legyenek, így jobban automatizálható a beültetésük, nagyobb a gyártósorok termelékenysége, ezáltal olcsóbb az alkatrészek és a készülékek előállítása is. A felületi szereléstechnológia hátrányai közé tartozik a nagy alkatrészsűrűségből adódó bonyolultabb tervezés és nehezebb hibadetektálás, valamint a korlátozott javíthatóság.

A felületszerelési technológia három fő lépésre bontható:

1. forraszpaszta felvitele (gépesített formája a stencilnyomtatás),
2. alkatrészek beültetése,
3. újraömllesztéses forrasztás.

A nagyüzemi termelés során az egyes feladatokat ellátó gépegységek szállítószalaggal vannak összekötve, így a gyártósor teljesen automatikusan működhet. A sor elején és végén gyakran tárolók találhatóak, amikben a még alkatrészek nélküli és a már szerelt moduláramköri lemezek kerülnek. Az elektronikus áramkörök egy tipikus gyártósorát mutatja az 1.2. ábra.

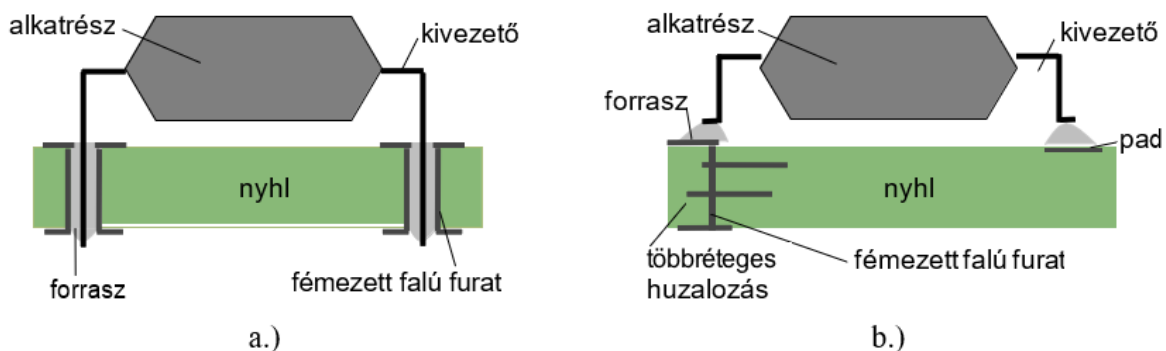


1.2. ábra: Felületszerelt áramkörök tipikus gyártósora

## 2. AZ ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIÁBAN ALKALMAZOTT ALKATRÉSZEK

### 2.1. FURATSZERELT ÉS FELÜLETSZERELT ALKATRÉSZEK

Az elektronikus áramkörök alapvető építőelemei a hordozó és az arra mechanikusan rögzített és villamosan is csatolt alkatrész. Az alkatrészek csoportosítása során szerelhetőség alapján a már említett két csoportot különböztethetünk meg. Furatszerelt („THT” – Through Hole Technology) és felületszerelhető, vagy angolul „Surface Mount Device”, röviden SMD alkatrészeknek nevezzük.



2.1. ábra: a.) Furatszerelt alkatrész, b.) Felületszerelt alkatrész rögzítése a hordozón

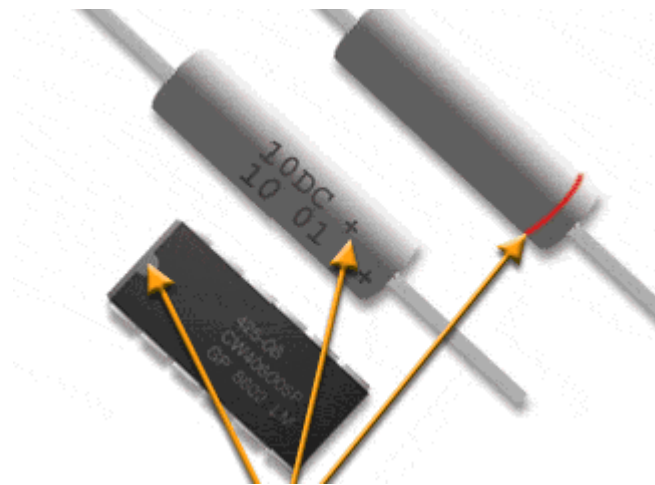
A felületi szereléstechológia sajátossága, hogy a forrasztási célú furatok eliminálásával, helyettük a hordozó egyes rétegeit összekötő kisméretű átvezetésekkel (VIA) alkalmazásával jelentős helymegtakarítás érhető el. Manapság többségében felületszerelt alkatrészeket alkalmaznak, mivel ezekkel jelentős helymegtakarítás és súlycsökkentés érhető el, illetve az integrált áramkörök nagyrésze nem is kapható más tokozásban.

### 2.2. DISZKRÉT ALKATRÉSZEK

A diszkrét elektronikus alkatrészek funkciójuk alapján két csoportra, aktív és passzív alkatrészek csoportjára oszthatók. Az aktív alkatrészek képesek a villamos jelek erősítésére, működésükhöz tápenergiát igényelnek és többnyire félvezető alapúak. Ebbe a csoportba tartoznak a tranzisztorok, diódák, valamint az integrált áramkörök az egyszerű digitális inverterektől a komplex funkciók megvalósítására is alkalmas mikrokontrollerekig, processzorokig, programozható logikai áramkörökig. A passzív alkatrészek ezzel szemben a villamos jelet csak átalakítják, ezért nincs szükségük tápellátásra. Passzív elemek például a kondenzátorok, tekercsek és az ellenállások.

Egyes alkatrészek érzékenyek a polaritásra. A polaritásra érzékeny alkatrészek pozitív (+) vagy negatív (-) csatlakozással kapcsolódnak a kártyához. A polarizált alkatrészeket a megfelelő pozícióban kell a kártyára szerelni. A polarizált alkatrészeken csak az egyik irányban halad át áram. A polaritást számos módon jelzik az alkatrészeken. Példák (2.2 ábra):

- Pöttyel, csíkkal vagy a pluszjellel (+).
- Egy „A” betűvel a pozitív kivezetés közelében.
- Számos SMT alkatrésznek ferdén le van vágva a pozitív vége.

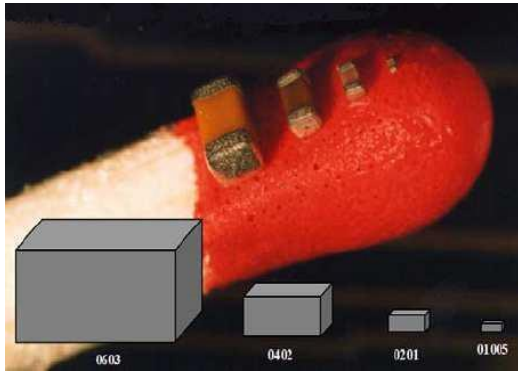


2.2. ábra: Polaritás ábrázolása különböző alkatrészeken

### 2.2.1. Passzív alkatrészek

A passzív elemek különböző méretekben elérhetők. A gyártók az Amerikai Nemzeti Szabványügyi Hivatal („American National Standards Institute”) által akkreditált EIA („Electronic Industries Alliance”) szabványa szerint az egyes elemeket általában négy számjegyből álló méretkód alapján különböztetik meg. Az **első két számjegy** a hasáb alakú alkatrész **hosszát adja meg**, míg az **utolsó két számjegyből** álló szám a **szélesség** értéke mil-ben (az inch ezredrésze). Így például egy 1206 méretkódú ellenállás 12 mil, azaz 3 milliméter hosszú és 6 mil, azaz 1,5 milliméter széles. A legkisebb passzív alkatrész, amely még megfelel ennek a szabványos jelölésnek 0402 méretkódú. Kapható azonban 0201 illetve 01005 jelölésű alkatrész is, mely a fenti logikát követve kétszer egy, illetve egyszer fél mil méretű kellene, hogy legyen. Ezen kódok azonban már nem méretkódok, így méretük mil-ben nem felel meg a kódjukban álló számoknak. A 0201 jelű alkatrészek 0,6-szor 0,3 milliméteresek, míg a 01005 kóddal jelölt alkatrészek mérete 0,4-szer 0,2 milliméter. Különböző méretkódú alkatrészeket szemléltet gyufaszál fejen a 2.3 ábra. A 2.4. ábra néhány 01005 jelű alkatrészt mutat egy emberi hajszál

közelében.



2.3. ábra: Alkatrészek méretének szemléltetése



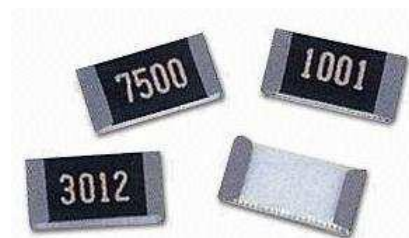
2.4. ábra: 01005 jelű alkatrészek emberi hajszál mellett

### 2.2.1.1. Ellenállás

A moduláramkörökön az ellenállás a leggyakoribb alkatrész. Az ellenállás elsődleges funkciója az áramkörben folyó áram nagyságának korlátozása. Polaritása és irányultsága nincs (2.5 ábra).



a.) furatszerelt

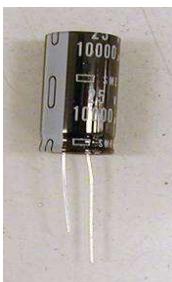


b.) felületszerelt

2.5. ábra: Ellenállás

### 2.2.1.2. Kondenzátor

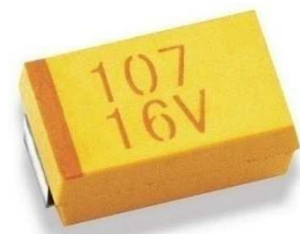
A kondenzátorok (2.6. ábra) elektromos töltést tárolnak és sűtnek ki. Az elsődleges feladatuk az energia tárolása. A polarizált kondenzátorok lehetnek axiálisak és radiálisak. Figyelni kell a (+) jelzést, a pöttyöt, a csíkot, a nyilakat, mélyedéseket stb. Nem polarizált kondenzátorok: kerámiatárca (narancsszínű vagy kék), merített csillám, mylar, üvegtömítésű.



a. furatszerelt, polarizált



b. felületszerelt, polarizálatlan



c. felületszerelt, polarizált

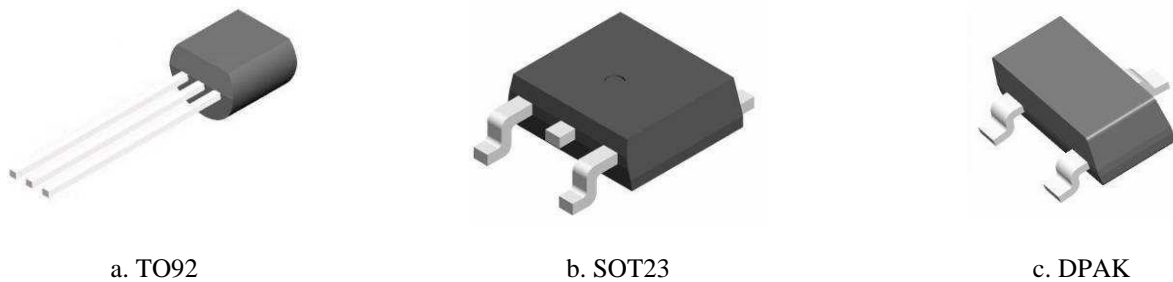
2.6. ábra: Kondenzátor

## 2.2.2. Aktív alkatrészek

Az aktív alkatrészeket osztályozva funkciójuk alapján három csoportra, tranzisztorokra és diódákra, illetve bonyolultabb integrált áramkörökre bonthatók.

### 2.2.2.1. Tranzisztor

A villamos jelek erősítésére szolgáló elektronikai részegység. Irányultság polaritás szerint, polaritás a kivezetések sorszáma vagy a hordozón lévő alkatrész-minta szerint. A 2.7. ábra különböző típusú tranzisztor tokok láthatóak. Az a.) ábra a TO92 jelű furatszerelhető tokozást, míg a b.) és c.) ábra egy-egy felületszerelhető tokozást mutat. A c.) ábrán látható TO252 vagy DPAK jelű tokozást nagy teljesítményű tranzisztorok esetén alkalmazzák.



2.7. ábra: Tranzisztor tokozási típusok

### 2.2.2.2. Dióda

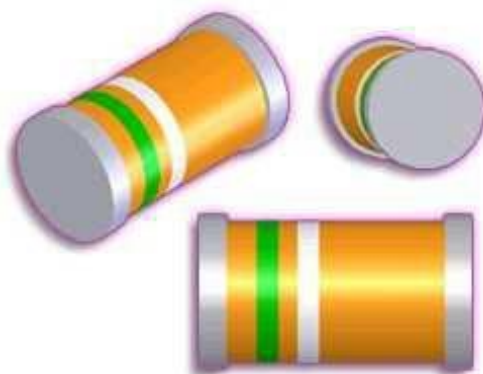
A diódák csak az egyik irányban engedik folyni az áramot. A diódák érzékenyek a helyes irányultságra, és néha egyenirányítóknak is nevezik őket. Polaritás – színes gyűrű a negatív (katódos) vég közelében, ferdén levágott katódos vég, vagy pedig a szerelőlemezen található jelzés arra, hogy hová kell helyezni a dióda katódos végét (2.8. ábra).



2.8. ábra: Különböző dióda típusok



Diódák esetén gyakran alkalmazzák a tranzisztorok tokjait, így például a 2.7. ábrán látható SOT23 jelűt, vagy a 2.9. ábrán látható MELF típusú hengeres tokformát. Ezek a tokok a kivezetések száma miatt gyakran több diódát is tartalmaznak.



2.9. ábra: MELF tokozású dióda

### 2.3. TOKOZOTT, INTEGRÁLT ALKATRÉSZEK

A felületszerelt és a furatszerelt alkatrészek mellett harmadik csoportot az integrált áramkörök tartalmazó chip alkatrészek jelentik, melyeket mikro-huzalkötéssel, szalagra szerelt fóliakivezetőkkel, vagy az alkatrész kontaktusaira rögzített forraszgolyókkal, úgynevezett „bump”-okkal rögzítenek a hordozókra (PCB / NYÁK). Az integrált áramköröknek (IC-knek) többnyire több kivezetése is van. Ilyenkor az irányultsági jel, pl. egy bevágás mutatja az 1. számú lábat (2.10. ábra), így a szerelőlemezen lévő kontaktusfelületekre megfelelő pozícióba tudjuk beültetni az alkatrészt. A kivezetések az alkatrész oldala mentén körben sorszámmal vannak ellátva. Az 1. számú lábat bevágás, pötty, „letörés”, vagy egyéb jelzés mutatja.



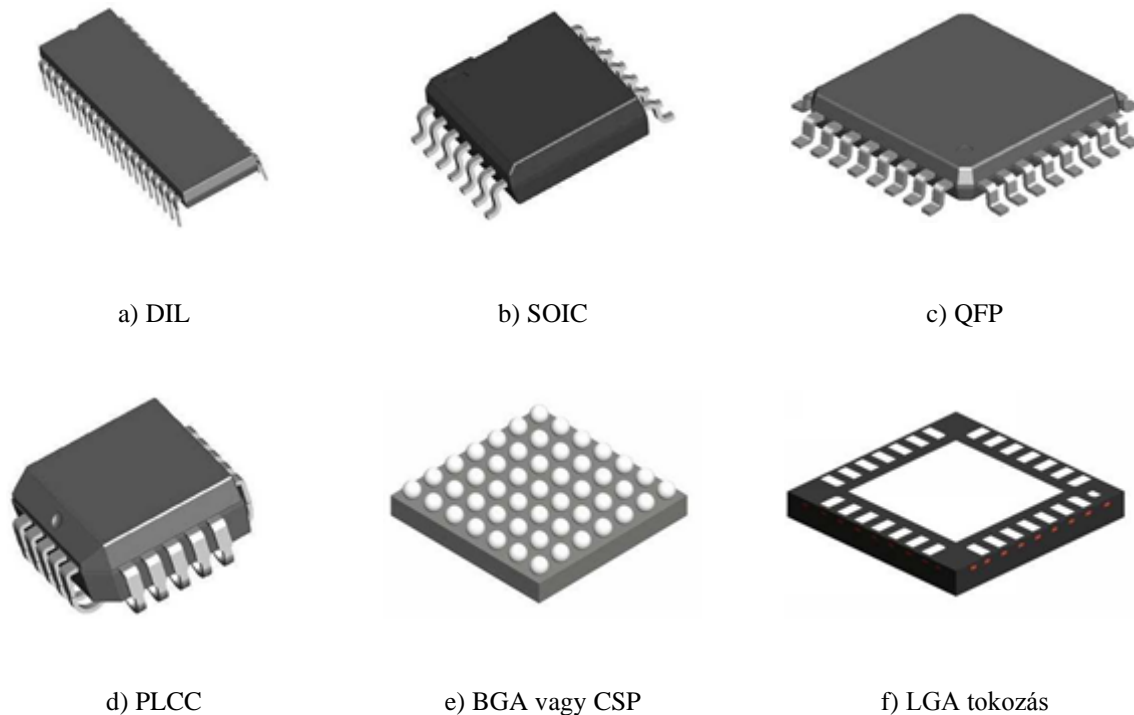
2.10. ábra: Integrált áramkör lábkiosztása

Az integrált áramkörök megjelenése, funkciója, alkalmazási területe más és más, ezért az alkatrészek tokozási technológiája különféle megoldásokat mutatva fejlődött. A fejlődés néhány állomását mutatja a 2.11. ábra.

A 2.11. ábra hagyományos, furaton át szerelhető integrált áramköri tokozást, az úgynevezett „dual-in-line”, vagy röviden DIL tokozást mutatja. A felületi szereléstechológia előtérbe kerülésével az ehhez a technológiához illeszkedő tokozások jelentek meg, melyek közül a b.)-f.) ábrák mutatnak néhány gyakran használatosot. A DIL tokozás felületszerelhető megfelelője a b, ábrán látható „small outline”, vagy röviden SOIC jelű tokozás. A kivezetésszám növekedésével a tokok mind a négy oldalán megjelentek a kivezetések, így kialakult a „Quad Flat Pack”, vagy röviden QFP tokozás, ahol a sűrű-szárnyas vezetékek száma már 44 és 304 között változhat. Ehhez hasonló a PLCC jelű tokforma, melyen J-kivezetések találhatók, és közvetlenül ráforraszthatók a szerelőlemezre.

A fejlődés következő lépcsője a BGA típusú tokok megjelenése volt, melyek kivezetői az alkatrész alján helyezkednek el forraszgolyók formájában, ahogyan a 2.11. ábrán látható. A LGA tokozás sajátossága, hogy szintén az alsó felületen található a kivezetési célú kontaktusfelületek, ám ezek már forraszgolyó nélkül készülnek. Egy-egy integrált áramkör általában többféle tok típusban is elérhető, így a vevő kiválaszthatja a számára, az alkalmazás számára leginkább megfelelőt. Az aktív alkatrészek között napjainkban tömeggyártás esetén a méretek csökkentése miatt egyre elterjedtebben használt tokozási típus a BGA (Ball Grid Array), illetve CSP (Chip Scale Package – chipméretű tokozás) jelű tokozás. Ezek jellemzője, hogy az összeköttetést az integrált áramköri szilícium szelet és a külvilág közt a tok alsó felületén mátrixszerűen elhelyezett „bump”-ok (forraszgolyók) teremtik meg.

A forraszgolyók átmérőjének és a köztük lévő távolságok csökkentésének nyomán az egyes tokozási típusok gyártónként eltérő elnevezést kaptak:  $\mu$ BGA („Micro BGA”), CSP („Chip Scale Package”), Ultra CSP, stb. néven. A sokféle elnevezés oka a védjegytalmak létezése, melyekkel egy-egy gyártó kisajátíthatta az általa használt elnevezést. A méret csökkenésével ezen forraszanyagból álló golyók mérete és egymástól való távolsága is folyamatosan csökken.



2.11. ábra: Integrált áramköri tokozási típusok:

A kivezetők távolsága kezdetben 1,5 mm volt, ami 10 *mil*-enként csökkenve 1,27, 1, majd 0,75 milliméter szabványos kivezető-távolságokon keresztül napjainkra 0,5 milliméterig csökkent. A 0,5 mm kivezető-távolság kezd általánosan elterjedté válni, de egyre több gyártó jelenti be új alkatrészeit 0,4 milliméteres kivezető-távolságú CSP tokozásban. Léteznek már 0,3, 0,35 milliméteres kivezető-távolságú CSP alkatrészek, de 70 mikrométeres úgynevezett Flip-Chip (FC) alkatrészek is elérhetőek már. Ezeket közvetlenül a chip felületére illesztett „bump”-okkal gyártják, így az alkatrész mérete a chip méretét nem haladja meg. A chipet fejjel lefelé ültetik, forrasztják a szerelőlemezre.

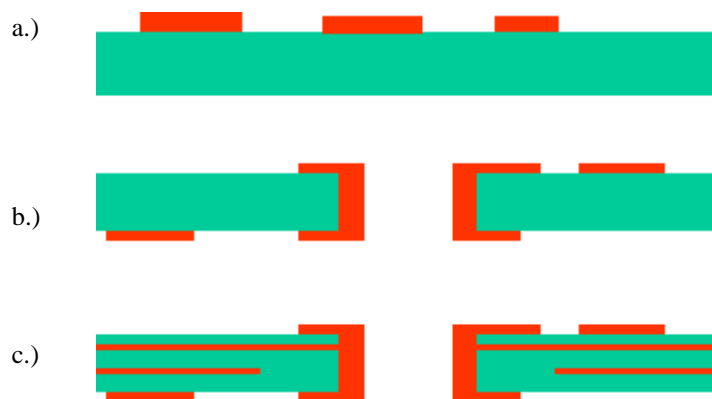
A 0,4 milliméternél kisebb kivezető-távolságú alkatrészek számára a hagyományos nyomtatott huzalozású lemezek (PCB/NYÁK) mintázatot kialakítani a technológia korlátai miatt rendkívül nehézkes, 100 mikrométer alatti rászterosztás esetén szinte lehetetlen, ezért ezen alkatrészeket többnyire üveg vagy kerámia hordozóra szerelve alkalmazzák hibrid áramkörökben, vagy multichip modulokban.

## 2.4. NYOMTATOTT HUZALOZÁSÚ HORDOZÓK TÍPUSAI, AZOK TULAJDONSÁGAI

A **nyomtatott huzalozású hordozó** vagy **lemez (NYHL)**, szakzsargonban hibásan, de a mai napig

széleskörben használt: **nyomtatott áramkör, azaz NYÁK**) szigetelő anyagból készült lemez, melynek külső (de általában a belső rétegein is) rézfóliából kialakított rajzolat található az áramkörnek megfelelően. Az alkatrészeket a szerelőlemezre forrasztással rögzítik, mely egyszerre biztosítja az elektromos kapcsolatot a rajzolathoz és a mechanikai rögzítést. A már beültetett áramkört **szerelt áramkörnek, szerelt lemeznek** nevezzük.

Többfajta nyomtatott huzalozású hordozó létezik (2.12. ábra). Az **egyoldalas hordozóknak** csak egy mintázott vezetőfelületük van, nagyon egyszerű alkalmazásokhoz használják. Ma a legelterjedtebb hordozófajta a **kétoldalas** nyomtatott huzalozású hordozó, melynél két vezető rajzolat található a lemezen. A két - ellentétes oldalon elhelyezkedő - vezető rajzolatot fémezett falú furatokkal (azaz **viákkal**) kapcsolják össze, ahol szükséges. A **többrétegű nyomtatott huzalozású hordozók** kettőnél több, jellemzően négy-nyolc vezető réteggel rendelkeznek. Azonban gyakoriak a húsz vagy annál több rétegű hordozók is (pl. számítógép alaplapoké, telefonközpontoké...).



2.12. ábra: yHL kategóriák a réteg struktúrától függően: a.) egyoldalas, b.) kétoldalas, c.) többrétegű

Más csoportosítás szerint – a hordozó anyagától függően – kétfajta lehet a nyomtatott huzalozású hordozó. A **merev nyomtatott huzalozású hordozó** vázanyaggal megerősített műgyantából készült összelaminált lap (2.13. ábra). A vázanyag lehet papír, üvegszövet, üvegpaplan, azbeszt, poliaramid, nylon stb. Az FR-4 típusú epoxi-üvegszövet (üvegszálal) lemez a legáltalánosabban használt hordozótípus és ezért az egyik legolcsóbb is. Csúcstechnológiájú és professzionális elektronikus áramkörök készítésére használják kiváló mechanikai stabilitása és hőtűrő képessége miatt. Üvegszövet-vázú merev hordozók készítésére a poliimid műgyantákat is elterjedten alkalmazzák, mert egészen 250 °C-os vagy ennél magasabb hőmérsékleten is megtartják hajlítószilárdságukat. Ez az érték jóval magasabb a forrasztáshoz megkívánt hőmérsékletnél és az epoxi üvegesedési hőmérsékleténél, amely 125-170 °C. A poliimid hordozók hátránya az epoxiánál jóval magasabb árak.



2.13. ábra: Merev nyomtatott huzalozású hordozó

A **hajlékony (flexibilis) nyomtatott huzalozású hordozók** alapanyaga szintén poliimid műgyanta, de itt nincs vázanyag, vagy csak igen kis százalékban adnak hozzá merevítő anyagot, például kvarcport (2.14. ábra). Egyes esetekben fényérzékeny poliimidet használnak, hogy gazdaságosabb legyen a viák kialakítása.

A lemezeket általában egyik-vagy mindkét oldalukon, teljes felületükön **rézfóliaborítással** készítik, ezeket “teli” lemezeknek nevezzük. A vékony fóliaréteget úgy készítik, hogy egy elektrolitban lassan forgó rozsdamentes acél hengerre elektrokémiai rétegfelvitellel (galvanizálással) választják le a réteget. A fóliának az a felülete, amely a hengerrel érintkezett, sima és fényes felületű, a másik oldala matt és porózus. A rézfólia vastagsága általában 17-35  $\mu\text{m}$ -ig terjed, de a finom rajzolatú NYHL-ehhez a jobb felbontás elérése érdekében akár 5  $\mu\text{m}$  vékony fóliákat is használnak, illetve a nagyáramú áramkörökben akár 100  $\mu\text{m}$ -est is a vezetékátmérő növelése érdekében. A megerősített szerves anyagú prepreg (preimpregnated, előimpregnált, vagyis műgyantával félig bevont) réteg és a rézfólia a lamináláskor tapad össze. A fémfóliát porózus felületével a szigetelő műgyantával bevont felére helyezik, és emelt hőmérsékleten összepréselik. Ezzel a műgyanta teljesen beivódik a szövetbe, és végleg kikeményedik.



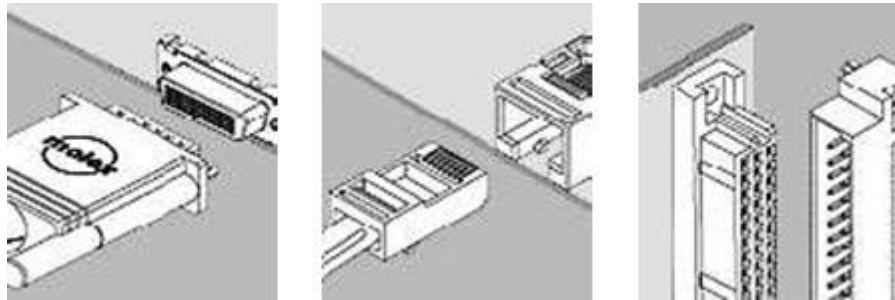
2.14. ábra: Hajlékony nyomtatott huzalozású hordozó

A néhányszor tíz mikrométeres rézrétegbe vezetékmintázatot marnak. A hordozók előállíthatók additív technológiával is, ahol rézréteg felvitele csak a vezetékmintázatnak megfelelő helyekre történik, de létezik féladditív technológia is, mely az előbbi két módszer együttes alkalmazását jelenti. A réz mintázat kialakítása után a forrasztásgátló lakk felvitele történik meg, melynek alapvető feladata a vezetópályák, és más nem forrasztás céljából kialakított mintázat védelme elektromos és mechanikus szempontból is egyaránt. A forrasztásgátló lakk felvitele után már csak a forrasztandó felületek maradnak szabadon, melyekre egy további réteg kerül, amelynek célja a felületek forraszthatóságának javítása, megőrzése. **A réz ugyanis néhány óra alatt oxidálódik,** így önmagában nehezen forrasztható, ezért tűziónozással (HASL), organikus bevonattal (OSP), ezüst- vagy ónréteggel (Immerziós Ag és Sn) vagy nikkelle felvitt néhányszor tíz nanométer vastag aranyréteggel (ENIG) növelik a forraszthatóságot. Az így elkészült lemezekre már könnyen rögzíthetők az alkatrészek.



## 2.5. MECHANIKUS ALKATRÉSZEK

Az elektronikus funkciójú mechanikus alkatrészek funkciója az áramkörök mechanikus úton történő össze-, vagy szétkapcsolása. Ilyen például a csatlakozó és a kapcsoló. A csatlakozó mechanikai kontaktus útján elektromos kapcsolatot biztosító alkatrész; amely a rajta átfolyó áram, illetve a kapcsain eső feszültség, továbbá az üzemi frekvencia függvényében különböző kialakítású (kapcsos, sarus, tűs...) lehet. Kialakítása még függ különböző ipari szabványoktól, illetve biztonsági előírásoktól (2.15. ábra).



2.15. ábra: Különböző csatlakozó típusok

A mechanikus kapcsoló és nyomógomb olyan áramköri elem, amely az elektromos áramot bizonyos irányban vagy átengedi, vagy nem (2.16. ábra).



2.16. ábra: Különböző kapcsoló típusok

### 3. FURATSZERELT ALKATRÉSZEK SZERELÉSTECHNOLÓGIÁJA

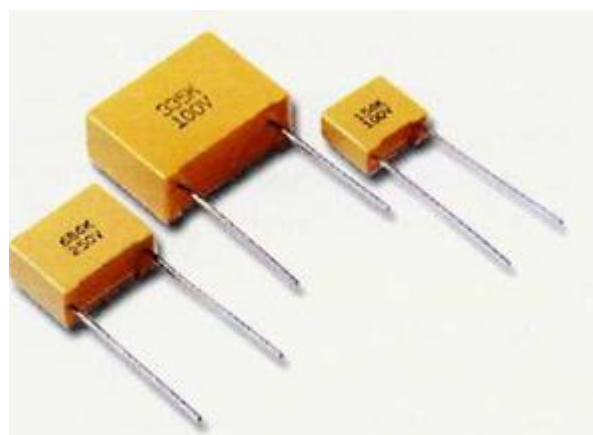
A furatszerelt alkatrészek beültetése esetén a legfontosabb szempont az alkatrész kivezetések formája, ezért a következőkben először osztályozzuk az alkatrészeket a különféle kivezető típusok szerint.

#### 3.1. AZ ALKATRÉSZEK OSZTÁLYOZÁSA A KIVETŐK TÍPUSA SZERINT

A furatszerelt alkatrészeket alapvetően két osztályba soroljuk, amelyek a huzalkivezetős és a fix kivezetős alkatrészek. Az alapvető különbség a két osztály között, hogy még a huzalkivezetős alkatrészek kivezetései szabadon (bizonyos határok között) alakíthatók, addig a fix kivezetéssel rendelkező alkatrészek kivezetési pozíciói adottak. A 3.1 ábrán ezekre láthatunk egy-egy példát (amiket a könnyebb átláthatóság kedvéért most és a továbbiakban is kondenzátorokon keresztül illusztrálunk).



a) huzalkivezető



b) fix kivezetős

3.1. ábra: Furatszerelt alkatrész osztályok

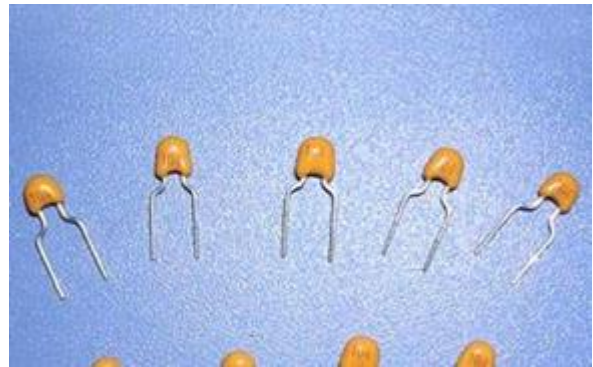
A 3.1 ábrán látható fix kivezetős alkatrészek lábai mechanikai erő hatására ugyan csak formázhatók (némileg nagyobb erő kifejtésével, mint a huzalkivezetős esetben), viszont ez az alkatrész sérüléséhez vezethet, ezért szigorúan tilos.

A fent tárgyalt osztályok további alosztályokra bonthatók, amelyek az ún. „axiális” és „radiális” kivezetésekkel ellátott alkatrészek. Először vizsgáljuk meg ezeket a huzalkivezetésű alkatrészek esetén. Az axiális kivezetőkkel ellátott alkatrészek esetén a kivezetések az alkatrészek egy-egy szemközti oldalán helyezkednek el, addig a radiális esetben a kivezetések azonos oldalon egymás

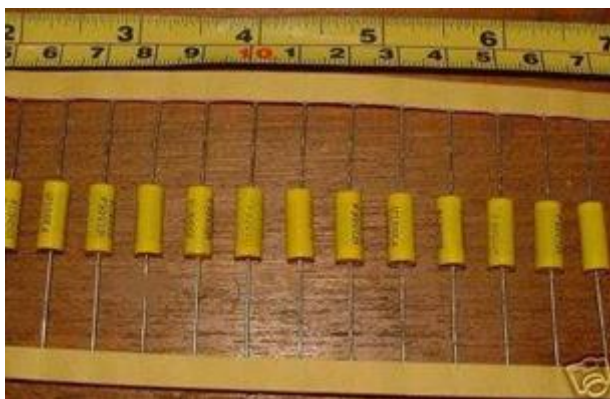
mellett található (3.2. ábra) A kivezetések típusának megfelelően az egyes alkatrészek csomagolási (kiszerezési) formái is eltérőek. Az axiális kivezetéssel rendelkező alkatrészeket ún. kettős hevederezéssel látják el, még a radiális kivezetésekkel bíró alkatrészek ún. egy oldalas hevederezéssel készülnek). Az egyoldalas hevederezés esetén jól megfigyelhető az automatikus beültető számára készült perforációk a hevederen, amelyek a heveder léptetését segítik a berendezésben (részletesen lásd. 3.2 fejezet).



a.) axiális



b.) radiális



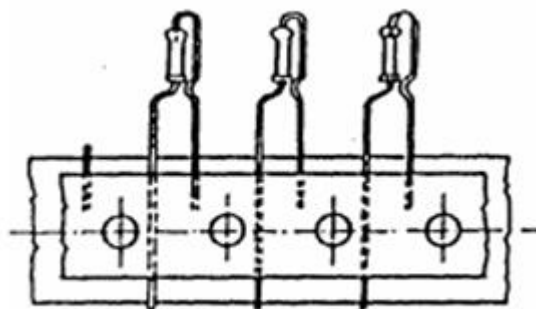
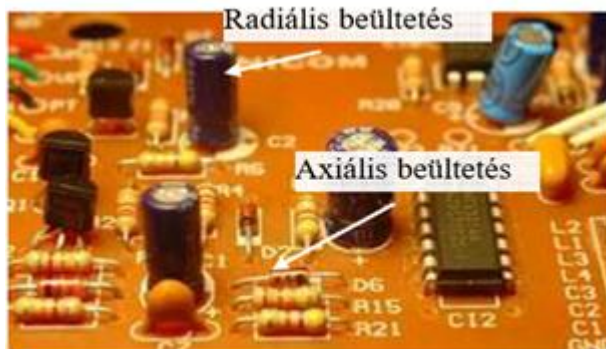
c.) kétoldalas hevederezés



d.) egyoldalas hevederezés

3.2. ábra: Kapacitások

Az axiális és radiális kivezetőkkel nem szabad összekevernünk az axiális és radiális beültetést, amit a 3.3 ábrán szemléltetünk. A megkülönböztetés legfőbb oka, hogy az axiális kivezetéssel ellátott alkatrészek is beültethetők radiálisan.

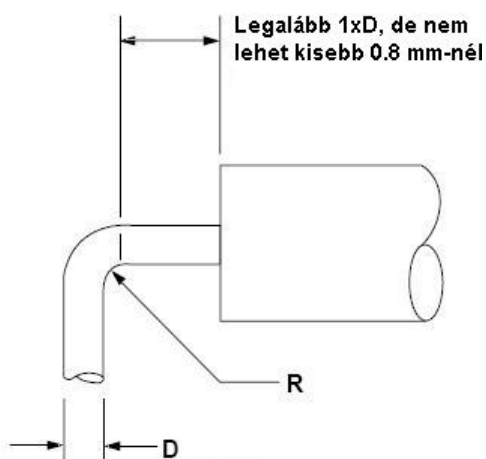


a) axiális és radiális beültetés

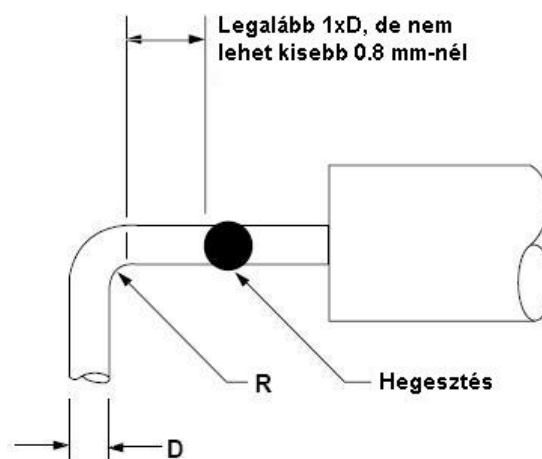
b) radiális beültetésre előkészített axiális kivezetéssel ellátott alkatrészek

3.3. ábra: Beültetési típusok

Az axiális beültetés úgymond „biztonságosabb”, mint a radiális, ami alatt azt érjük, hogy az alkatrészek alig emelkednek is a hordozó síkjából és így kisebb a valószínűsége az esetleges mechanikai sérülésnek. Emiatt viszont nagyobb a helyfoglalás, mint radiális esetben. A huzalkivezetős alkatrészek lábainak alakítására – amint azt fentebb már említettük – szabványok vonatkoznak (IPC-7251). A huzalkivezetők alapvetően kétféleképpen készülhetnek, amelyek az ún. direkt kivezetők és a hegesztett kivezetők. A direkt kivezetők esetén az alkatrészláb behatol az alkatrész testbe és azon belül direktben csatlakozik az alkatrész funkcionális magjához, még a hegesztett kivezető esetén az alkatrész lábat az alkatrész testből kiálló csonkhoz hegesztik hozzá. Az alkatrészlábak hajlítására vonatkozó szabályok és a két eltérő technológia miatt adódó különbségek a 3.4. ábrán szemléltetjük.



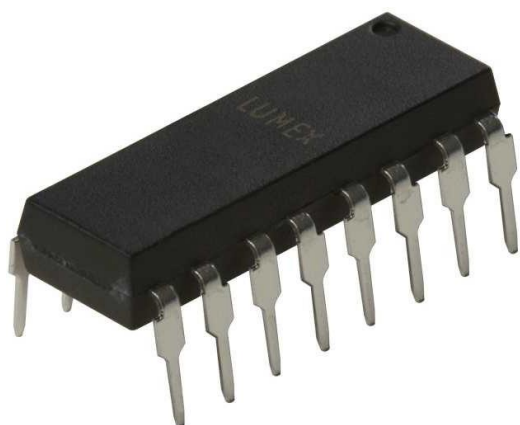
a.) direkt kivezető esetén



b.) hegesztett kivezető esetén (IPC-7251)

3.4. ábra: Huzalkivezetésű alkatrészek lábainak hajlítása

A hajlításra vonatkozó értékeket az alkatrész kivezető átmérőjének függvényében szokás megadni. A radiális huzalkivezetőkkel ellátott alkatrészek esetén a kivezetések szintén a fenti szabványok szerint hajlíthatók, azonban ezeknél az alkatrészeknél sok esetben az alkatrész gyártói előre beállítják a kivezetők pozícióját. Előre beállított radiális kivezető pozíciókra láthattunk példát a 3.4 ábrán. Ennek általában a hajlítás közben bekövetkező sérülések elkerülése az oka, arra érzékeny pl. fólia kondenzátorok esetén. Az eddig tárgyalt passzív furatszerelt alkatrész típusok mellett, meg kell említenünk a furatszerelt aktív IC-k számára alkalmazott ún. DIP (Dual Inline Package) típust. A DIP tokok a fix kivezetős alkatrészek osztályába sorolhatók (3.5. ábra). A kivezető szám 4-től egészen 64-ig vagy a fölé is nőhet. A DIP tokok alapvetően axiális kivezetésűek és axiális beültetéshez készülnek, de hely szűkében alkalmazhatunk ún. axiális-radiális átalakító foglalatot, amely segítségével a DIP tok radiálisan is beültethető.



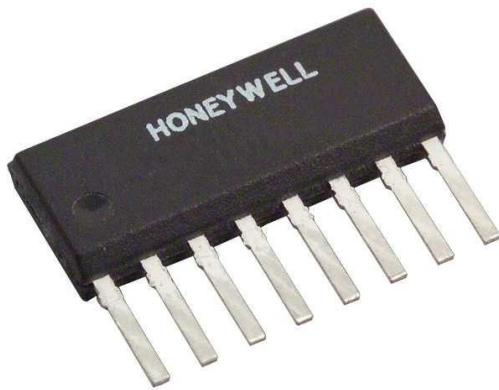
a.) DIP tok



b.) axiális-radiális átalakító foglalat

3.5. ábra: DIP tokozás

A DIP tokok mellett meg kell említenünk a jóval ritkábban alkalmazott, de pl. teljesítmény elektronikában sokat használt SIP (Single Inline Package) tokokat, amelyek radiális kivezetésűek és szintén a fix kivezetőkkel rendelkező alkatrészek osztályába tartoznak (3.6. ábra).



a.) egysíkú kivezetésekkel



b.) osztott kivezetésekkel

3.6. ábra: SIP tokok

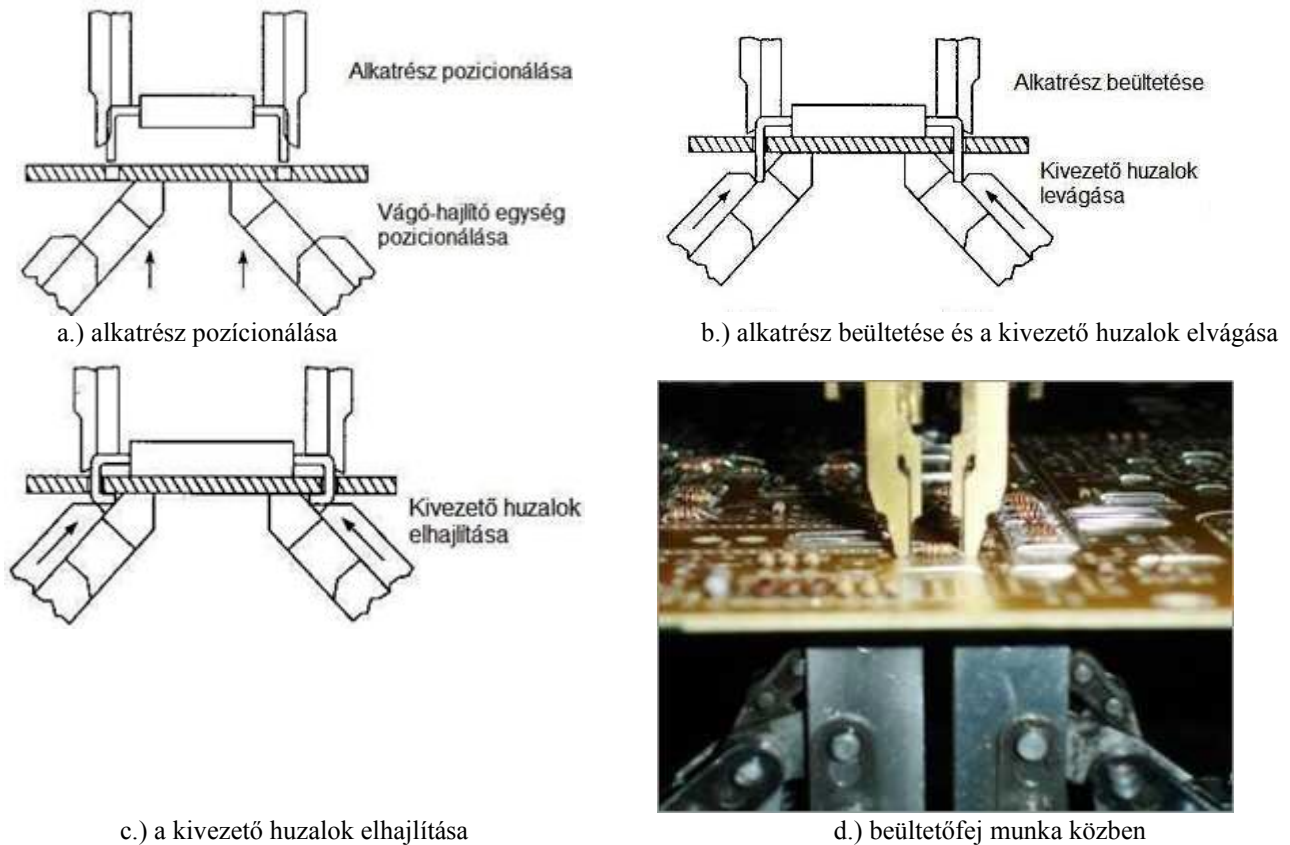
A DIP tokok dominanciájukat leginkább az egyszerű kezelhetőségüknek köszönhetik. Az automatikus beültető gépek sokkal könnyebben megbirkóznak velük, mint a SIP tokokkal.

### **3.2. AXIÁLIS ÉS RADIÁLIS HUZALKIVEZETÉSŰ ALKATRÉSZEK BEÜLTETÉSE**

Az alkatrészek beültetésnek legegyszerűbb módja a kézi beültetés ez azonban nem biztosított kellő pontosságot és termelékenységet, de a bizonyos esetekben (pl. nem szabványos vagy ritkán használt alkatrészek, vagy nagy tömegű alkatrészek beültetése) a mai napig alkalmazott módszer. Azonban az elektronikai tömeggyártás elterjedésével természetesen megjelentek az automata beültető berendezések, amelyek mind pontosságban mind termelékenységben nagyságrendekkel felülmúlták a kézi erővel történő alkatrész beültetést.

A huzalkivezetéssel ellátott alkatrészek beültetésére szolgáló gépek jóval bonyolultabb mechanikai felépítésűek, mint az 4. fejezetben bemutatásra kerülő SMD alkatrészek beültetésére alkalmazott berendezések. Ez annak köszönhető, hogy még az SMD alkatrészek esetén „csak” az alkatrész megfogása, pozicionálása és mozgatása a beültető feladata, addig a huzalkivezetés esetén az alkatrész megfogása, a láb hajlítása, pozicionálás, mozgatás, és az alkatrész pillanatnyi rögzítése. Emiatt az ilyen típusú gépek termelékenysége elmarad SMD alkatrészt beültető társaikétól.





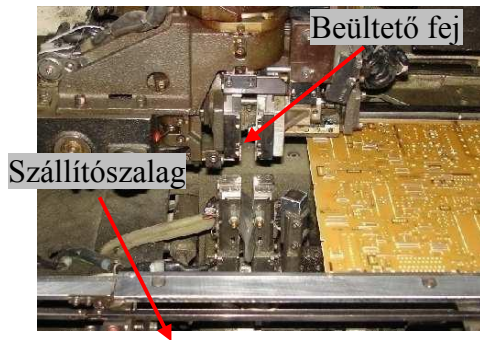
3.7. ábra: Huzalkivezetős alkatrész beültetése

A huzalkivezetésű alkatrészek beültetése a következő fő fázisokra bontható (radiális és axiális alkatrészekre is érvényes):

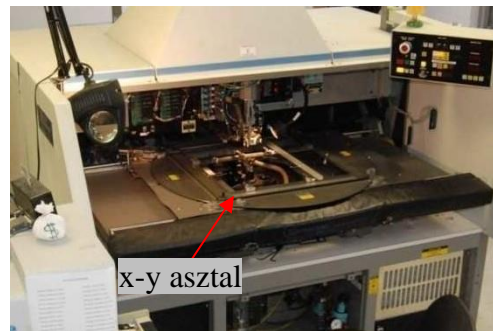
- az alkatrészeket a beültető gép először eltávolítja az alkatrész hevederből,
- következik az alkatrész kivezetők beültetési pozícióba hajlítása (ha szükséges),
- az alkatrész az ún. beültető fejbe kerül, ami a beültetési pozícióba helyezi,
- a beültető fej alsó szerszáma levágja a huzalkivezetők fölösleges részét és visszahajlítja azokat.

A folyamat a pozicionálástól, axiális beültetés esetén kezdve nyomon követhető a 3.7. ábrán. A bemutatott lépések analóg módon radiális kivezetésű alkatrészek esetén is alkalmazhatók. A 3.7. ábrán bemutatott alkatrész kivezetés visszahajtása az alkatrész ideiglenes rögzítése miatt fontos, azért, hogy elkerüljük a szállítószalag rázkódása vagy a hullámforrasztás mechanikai hatása miatt bekövetkező alkatrészvesztést.

Az alkatrészek pozicionálására két lehetőség kínálkozik, miszerint vagy a beültető fejet mozgatjuk a szerelőlemez felett és alatt (modernebb és egyben bonyolultabb változat), vagy a szerelőlemezt mozgatjuk egy x-y asztalon (régőbbi és egyszerűbb változat). A lényeges különbség a két technológia között, hogy a mozgó beültető fejes gép gyártósorba integrálható ún. „in-line” berendezés, még az x-y asztallal ellátott verzió külön álló ún. „off-line” berendezés (3.8. ábra).



a.) szállítószalagos „in-line”



b.) x-y asztalos „off-line” berendezés

3.8. ábra: Automata huzalkivezetésű alkatrész beültető

Az automata beültető alkatrész utánpótlására szintén két lehetőség kínálkozik. Egyszerű, kevés és hasonló alkatrészt (10 – 20 db) tartalmazó áramkörök esetén célszerű lehet az 1 db áramkörhöz szükséges alkatrészeket ciklikusan, alkatrész garnitúrákban elhelyezni az alkatrészeket tartalmazó alkatrész hevederen (3.9. ábra). Ezzel a beültető berendezés felépítése és programozása nagyban leegyszerűsíthető, mivel mindig a soron következő alkatrész várakozik a beültetésre, így a felvételi pozíció állandó és csak a beültetési pozíciót kell meghatározni.

Bonyolultabb, sok és eltérő alkatrészt tartalmazó áramkörök esetén azonban a fenti megoldás kivitelezhetetlen. Ilyenkor az egyes alkatrész típusokat külön-külön fűzik fel a beültető berendezésre az ún. „alkatrész feeder-ekbe” (3.9. ábra).



a.) ciklikusan összeállított alkatrész garnitúrák



b.) külön-külön felfűzött alkatrész hevederek

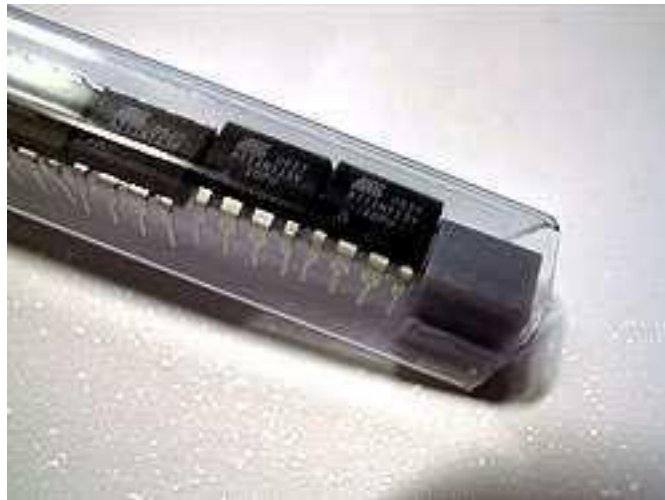
3.9. ábra: Alkatrész utánpótlás

A berendezés mindig abból az alkatrész feeder-ből választ, amely a szükséges alkatrészt tartalmazza. Ebben az esetben sajnos a beültető berendezés jóval bonyolultabb felépítést és programozást igényel, mint az alkatrész garnitúrák esetén.

### 3.3. DIP TOKOZÁSÚ ALKATRÉSZEK BEÜLTETÉSE

A DIP tokozású furatszerelt alkatrészek automatikus beültetése jellegükből adódóan némileg eltér a huzalkivezetővel ellátott alkatrészekétől. Mivel itt nincs szükség, sem az alkatrész kivezetők hajlítására, sem azok vágására, ezért a DIP beültetők felépítése egyszerűbb. Azonban a DIP tokok széles méretskálája – ahogy látni fogjuk – más jellegű nehézségeket okoz.

A DIP alkatrészeket nem alkatrész hevederekbe foglalva árusítják, hanem ún. csőtárakba helyezve. A csőtárak 50–80 cm hosszúságú műanyag rudak, amelyekben az alkatrészek egyesével egymás után helyezkednek el (3.10. ábra).



3.10. ábra: Csőtár

A rudakat egymás mellé állítva helyezik a beültető berendezés alkatrész feeder-eibe. A 3.11 ábra egy x-y asztallal ellátott DIP tokozású alkatrészek beültetésére szolgáló automata berendezést mutat.



3.11. ábra: DIP tokozású alkatrészek beültetésére szolgáló automata berendezés

A csótárból az a beültető fejek az ún. DIP szerszámok segítségével juttatják az alkatrészeket a szerelőlemez megfelelő helyeire. A technológia legfőbb nehézségét az jelenti, hogy majdnem minden egyes különböző méretű (kivezetés számú) alkatrészhez különböző méretű szerszám használata szükséges. A 3.12. ábra balról-jobbra rendre a 40, 24-28, 18-20 és a 14-16 kivezetéssel rendelkező DIP tokok megfogására képes szerszámok láthatók.



3.12. ábra: DIP szerszámok

Mivel a DIP tokok palettája a fent említetteknél jóval szélesebb, valamint, hogy a beültető által egy időben használt DIP szerszámok száma korlátozott (1–4 db), ezért ez gátat szabhat a technológia hatékony alkalmazásának bonyolult, sok és különböző méretű IC-t tartalmazó



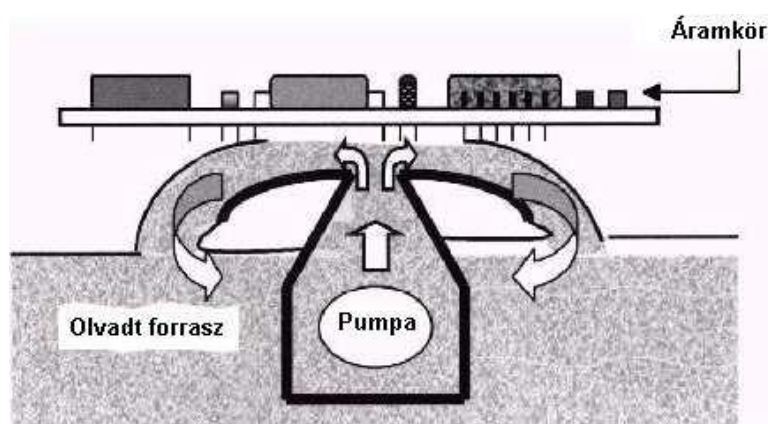
áramkörök esetén. A DIP tokokat beültető automaták ugyancsak készülhetnek „in-line” és „off-line” kivitelben aszerint, hogy a beültető fejet vagy a szerelőlemezt mozgatjuk. A 3.13. ábra egy beültetett DIP alkatrészt mutat a hullámforrasztást megelőzően (megfigyelhető, hogy a forraszmég nem futott fel a fémezett falú furatokon).



3.13. ábra: Beültetett DIP alkatrész

### 3.4. HULLÁMFORRASZTÁS

A hullámforrasztás mai napig a legelterjedtebb, tömeggyártásban furatszerelés esetén alkalmazott forrasztásos kötési technológia. A forrasztás területén a hullámforrasztás tekinthető az első igazán tömeggyártási technológiának, mivel ez volt az első olyan technológia, amely segítségével egyszerre nagy mennyiségű forrasztott kötést tudunk elkészíteni. (A hullámforrasztás alkalmas SMD alkatrészek szerelésére is, de ezt majd csak az 4. fejezetben tárgyaljuk). A technológia elnevezése a forrasztás során használt forraszhullámból ered, amelyet az olvadt állapotban lévő forraszanyagból forraszpumpák segítségével hozunk létre. A hullámforrasztás elvi vázlatát a 3.14. ábra illusztrálja.



3.14. ábra: A hullámforrasztás

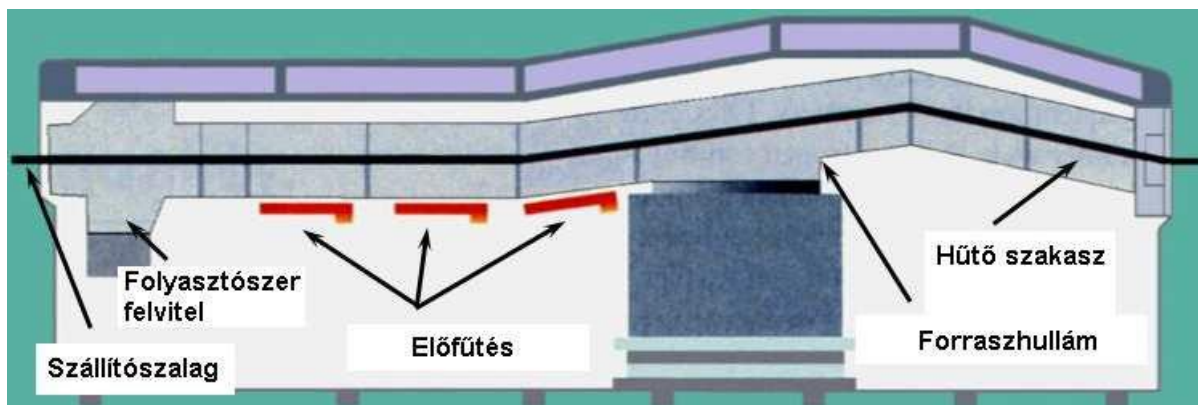
A technológia rendkívül egyszerű: az alkatrészekkel beültetett szerelőlemezt szállítószalag segítségével elhúzzuk az olvadt forraszt tartalmazó forraszkád felett, miközben a szivattyú rendszer segítségével, forraszhullámot hozunk létre a hordozó alatt. A hordozó éppen csak annyira merül bele a forraszhullámba, hogy az olvadt forrasz nedvesíteni tudja az alkatrészlábakat, valamint a forrasztási felületeket. A nedvesítés hatására az olvadt forrasz a fémezett falú furatokat is kitölti. Miután egy adott alkatrészláb elhaladt a forraszhullám felett, az olvadt forrasz megszilárdul és létrejön a kötés.

Ahogy minden más forrasztási technológia esetén, a hullámforrasztásnál is szükségünk van különféle előkészítő lépésekre a forrasztott kötések létrehozása előtt. Ennek megfelelően a hullámforrasztó berendezés négy fő részre bontható, amelyek:

- folyasztószer felviteli rész
- előfűtő szakasz
- hullámforrasztó szakasz
- hűtő szakasz



A következőkben e részek működésével és feladatával ismerkedünk meg részletesebben. A hullámforrasztó berendezés elvi felépítését a 3.15. ábra illusztrálja.

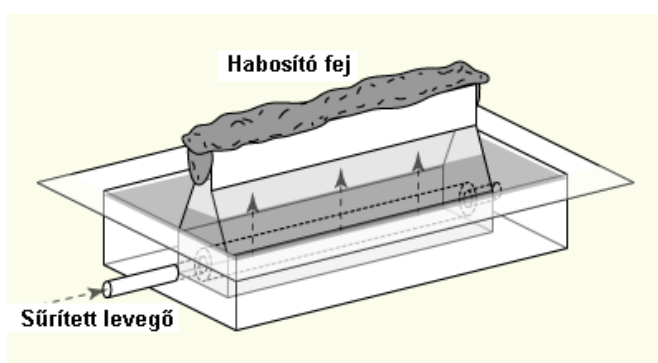


3.15. ábra: Hullámforrasztó berendezés elvi felépítése

#### *Folyasztószer felvitel:*

A hullámforrasztó berendezésbe érkező áramkörök először a folyasztószer felvitelén esnek át. Mivel a forrasztás során alkalmazott olvadt forrasztóanyag – az újraömlésnél alkalmazott forrasztópasztával ellentétben – nem tartalmaz folyasztószert (flux), ezért a folyasztószer felvitelt a forrasztás előtt külön kell megtennünk. A folyasztószer felvitelére két elterjedt módszert használhatunk az egyik az ún. folyasztószer habosítás (foam fluxing) a másik pedig az ún. folyasztószer permetezés (spray fluxing).

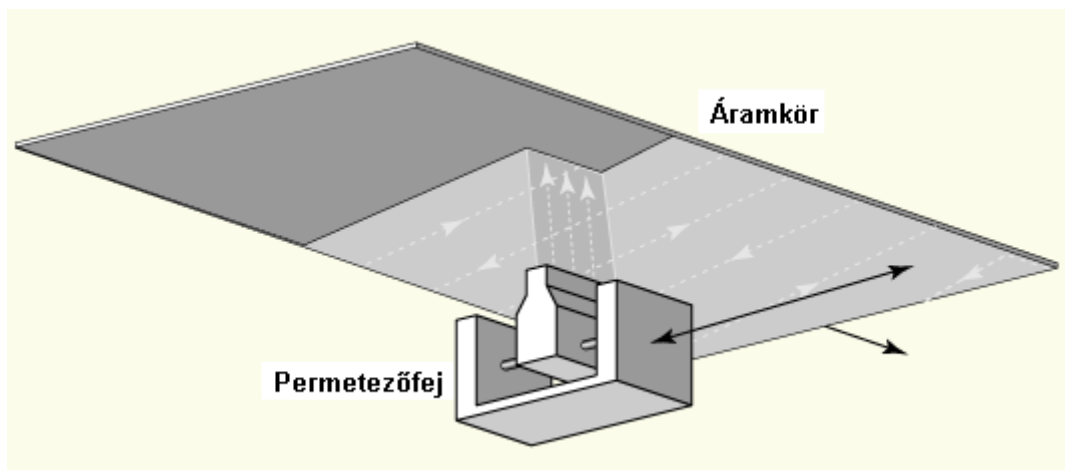
A folyasztószer habosítás lényege, hogy a habosító fejben elhelyezett perforált csőbe sűrített levegőt fújnak, ezáltal buborékokat létrehozva a folyasztószerben (3.16. ábra). A légbuborékokkal dúsított folyasztószer a habosító fejen szűkített kijáraton át a felszín felé törekszik, ezáltal koncentrált habzást létrehozva a felszínen.



3.16. ábra: Folyasztószer habosítás

Az áramkört – csakúgy, mint a forraszhullám felett – a habosított folyasztószer felett, abba belemerítve húzza el a szállítószalag, ami közben a folyasztószer felkerül a forrasztási felületekre. A módszer előnye, hogy igen egyszerű és ezért olcsón és könnyen kivitelezhető. Hátránya viszont, hogy a forrasz habzása a befűjt gáz eloszlásától erősen függ, ami miatt az 50-60 cm hosszú habosító fejen a habzás intenzitása erősen változhat. Így pedig a felvitt folyasztószer mennyisége erősen változhat a szerelőlemez felszínén.

A folyasztószer habosításhoz képest újabb és hatékonyabb módszer a folyasztószer permetezése, amely elvi működését a 3.17. ábra illusztrálja. Csakúgy, mint a habosítás esetén, itt is sűrített levegőt juttatnak a folyasztószerben, viszont ebben az esetben nem a habosítás a cél, hanem az, hogy koncentrált fűvókákon keresztül porlasszuk a folyasztószeret és permet formájában juttassuk az áramkör felszínére.



3.17. ábra. Folyasztószer permetezés

A 3.17. ábra mutatott módon a permetezőfej fel–alá mozogva adagolja a folyasztószer a felette elhaladó áramkör felszínére. A módszer legfőbb előnye, hogy a felvitt folyasztószer mennyisége és eloszlása sokkal pontosabban kontrolálható a levegő nyomásával és a permetezőfej mozgásának sebességével, mint a habosítás esetén. Hátránya, hogy komplikáltabb megoldás, mint a habosítás valamint, hogy a módszer érzékeny a folyasztószer sűrűségének változására. Így ennél a technológiánál gyakrabban kell ellenőrizni és utánpótolni a folyasztószerben található oldószer mennyiségét, mint a habosításnál.

#### *Előfűtés:*

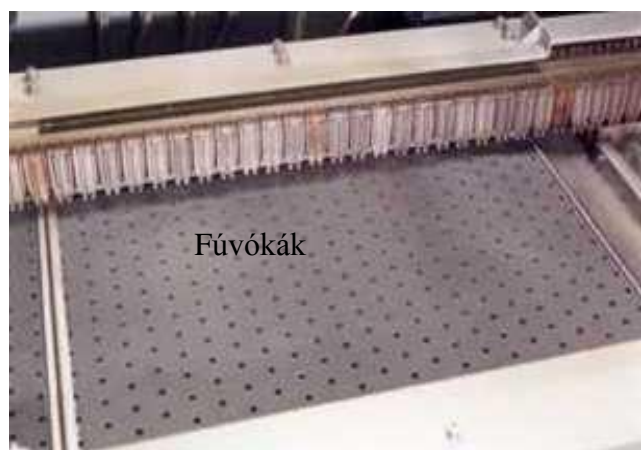
Az előfűtési szakasz célja, hogy aktiválja az előzőleg felvitt folyasztószeret, valamint, hogy előmelegítse az áramkört a hullámforrasztás előtt, ezzel elkerülve, hogy az hősokkot (hirtelen

hűtés vagy fűtés esetén a különböző anyagok tágulása különböző, ami mechanikai elváltozásokat és sérüléseket is okozhat a hordozóban és az alkatrészekben is) kapjon a forrasztás során. Az előfűtési szakaszban szobahőmérsékletéről 120–150 °C körüli értékre fűtjük az áramkört, 1–1,2 °C/s-os meredekséggel.

Az előfűtés történhet: infra-sugárzás útján illetve kényszer- konvekciós fűtéssel. Az infra-sugaras fűtés esetén az áramkört elektromágneses hőhullámok segítségével melegítjük, míg a kényszerkonvekciós fűtés esetén forró gázt használunk a fűtés céljából (részletesen lásd 4. fejezet). Az infra-sugaras fűtést infrasugárzó csövek segítségével érjük el (3.18. ábra), még a kényszerkonvekciós fűtés esetén, fúvókákon keresztül vezetjük a forró gázsugarakat az áramkör felszínére (3.18. ábra). Az infra-sugaras fűtés előnye, hogy rendkívül jó a hatásfoka, hátránya viszont, hogy az eltérő anyagú alkatrészek eltérő mértékben emittálják az infra-sugárzást és így eltérő mértékben is melegednek.



a.) infra-sugaras



b.) kényszer-konvekciós előfűtés

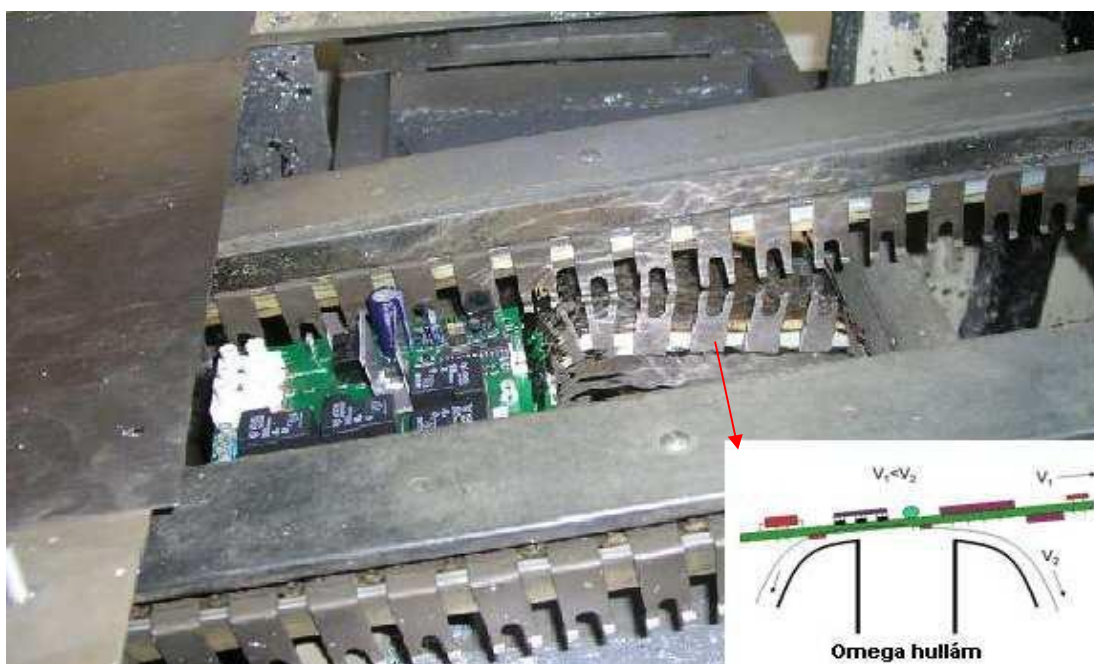
3.18. ábra. Az előfűtési rendszerek típusai

A kényszer- konvekciós fűtés előnye, hogy sokkal homogénebben melegít, mint az infra-sugaras, hátránya viszont a jóval alacsonyabb hatásfoka. (Hatásfok alatt a melegítésre fordított és a befektetett energiák hányadosát értjük). A fentiek ellenére, a mai napig mind a két bemutatott előfűtési eljárást alkalmazzák.

### *A hullámforrasztás:*

Az előfűtési szakasz után az áramkör a hullámforrasztó kemence forraszkádja fölé kerül, ahol mindeközben egy szivattyú rendszer segítségével forraszhullámot hozunk létre a hordozó alatt, amivel az áramkör forrasztási oldala érintkezik. A technológia fejlődése során több különböző ún. hullámformát alakítottak ki a minél jobb forrasztás elérése érdekében. Mivel ebben a fejezetben csak a furatszerelt alkatrészek hullámforrasztásával foglalkozunk, ezért az SMT szerelésnél alkalmazott hullámformákat itt nem tárgyaljuk.

A tisztán furatszerelt alkatrészeket tartalmazó áramkörök hullámforrasztása általános esetben az ún. „omega” hullámformával történik (3.19. ábra). A pumpából érkező forrasz, abból kilépve két ágra bomlik, majd laminárisan áramlik vissza a forraszkádba a hullámformát meghatározó lapátokon keresztül. Az omega hullám esetén a forrasz áramlási sebessége jóval nagyobb, mint a szállítószalagé.



3.19. ábra: Omega forraszhullám

Ahogy már a 3.19. ábra is mutatta, a forrasztandó hordozó a vízszinteshez képest némileg döntötten ( $\sim 10\text{--}15^\circ$ ) érkezik a forraszhullám fölé, hogy a forrasztandó hordozó mindig csak egy vonal mentén érintkezzen a forraszhullámmal, így megakadályozva a túlzott forraszanyag felvitelt.

### *Hűtési szakasz:*

A forraszhullámmal való találkozás után a már forrasztott áramkör a kemence hűtési szakaszába kerül. Mivel a hullámforrasztásnál nem éri akkora hőterhelés az áramköröket, nem is melegednek

fel annyira, mint az újraömllesztéses forrasztás során, ezért legtöbb esetben nem alkalmaznak semmilyen a hűtést elősegítő mechanizmust. Egyszerűen hagyják, hogy a hordozó a szobahőmérsékletű levegő által a természetes konvekciós folyamatok segítségével lehűljön. Speciális esetekben alkalmaznak csak a kemence végében elhelyezett ventilátorokkal létrehozott konvekciós hűtést.

#### *A szállítószalag:*

Bár a hullámforrasztó alapvető részeinek definiálása során a szállítószalagot nem említettük önálló egységként, azonban fontos szerepet játszik a technológia során (pl. az előfűtés egyik meghatározó paramétere a szállítószalag sebesség). A szállítószalagon alap esetben egyszerű „L” alakú körmök tartják a forrasztandó áramkört. Ugyanakkor előfordulhat az az eset, hogy különböző méretű áramkörök szerelünk egy azon hullámforrasztón, gyakori termékváltással. Ez esetben a hosszadalmas átállítás miatt nem célszerű a szállítószalag szélességének gyakori változtatása. Így az áramköröket inkább fixméretű (a maximális termékmérethez igazított) forrasztókeretekbe helyezzük (3.20. ábra).

A forrasztókeretek használatának további előnye, hogy létrehozhatunk rajtuk ún. forrasztási apertúrákat (kivágásokat vagy ablakokat). Ezzel elérhető az, hogy a forraszthullám csak ott találkozzon az áramkörrel, ahol a hullámforrasztás történik. Így például megóvhatjuk az áramkörünk alsó oldalán már korábban forrasztott SMD alkatrészeket (vegyes szerelés esetén) és csökkenthetjük az áramkört ért hőterhelést.



3.20. ábra: Hullámforrasztó keret



Természetesen minden egyes terméktípushoz ki kell alakítani, annak méretének, formájának és forrasztási helyeinek megfelelő forrasztókeretet, amibe a forrasztandó áramköröket általában manuálisan illesztik a hullámforrasztás előtt, majd távolítják el annak végeztével.

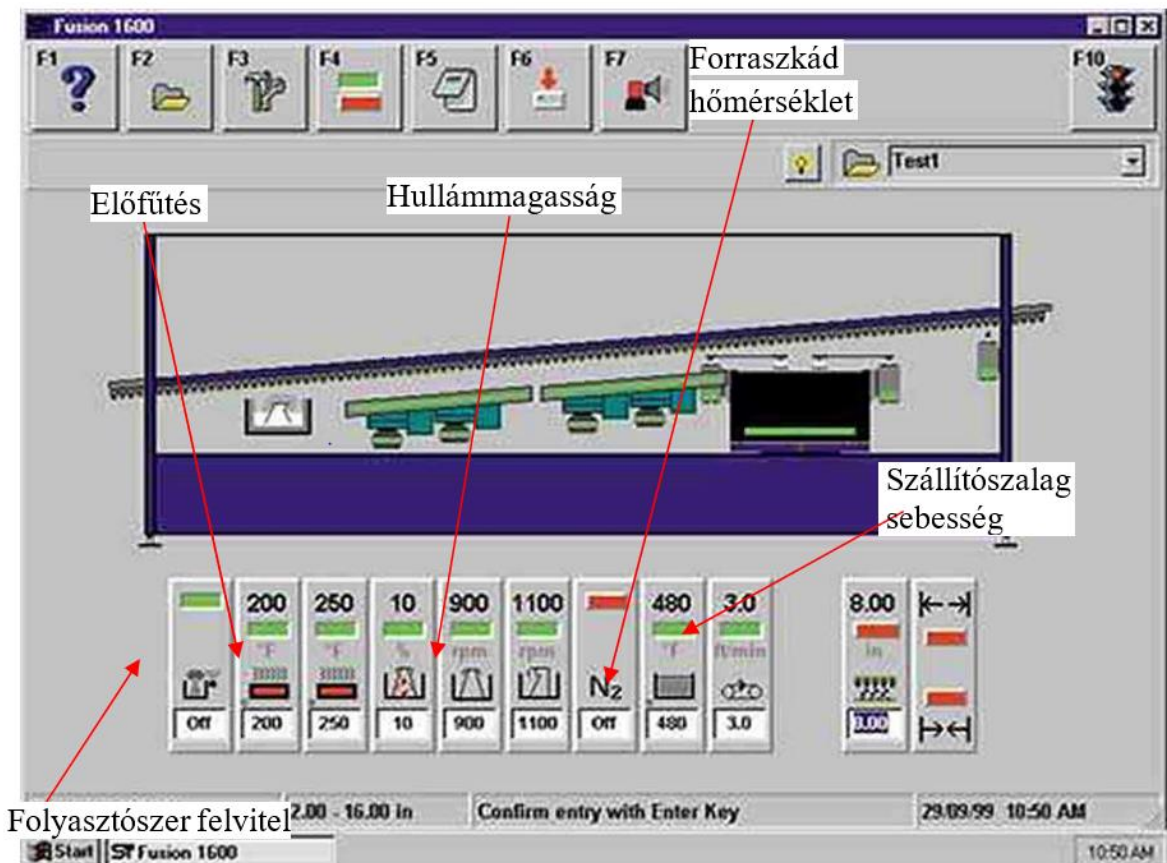
#### *Hullámforrasztó beállítása:*

3.21. ábraán egy hullámforrasztó berendezés látható. Megfigyelhető, hogy ennél a típusnál nem csak a forraszkád feletti szakasz döntött, hanem az egész szállítószalag a kemencében, a gyártók gyakran alkalmazzák ezt a kivitelezés szempontjából a szakaszos döntésnél egyszerűbb eljárást. A kemence kezelőfelületén (3.22. ábra bal felső sarok) beállíthatók a kemence forrasztási paraméterei, amelyek a következők: szállítószalag sebesség, nitrogén atmoszféra megléte a forrasztás során, folyasztószer felvitel ki- és bekapcsolása, előfűtési szakasz hőmérséklete, forraszkád hőmérséklete, forraszhullám magassága (3.22. ábra).



3.21. ábra: Hullámforrasztó berendezés





3.22. ábra. Hullámforrasztó kezelőfelülete

Ahogy azt már korábban tárgyaltuk, az előfűtési szakaszban szobahőmérsékletről 120–150 °C körüli értékre fűtjük az áramkört, 1–1,2 °C/s-os meredekséggel. Ezt az előfűtési hőmérséklettel, valamint a szállítószalag sebességének változtatásával tudjuk szabályozni. Fontos megjegyezni, hogy az adott áramkör mérete, termikus kapacitása szintén hatással van az előfűtésre éppen ezért az előfűtési paraméterek beállítása nagyban termék specifikus. Egyszerűen fogalmazva egy adott típusú termékhez beállított előfűtési paraméterek egyáltalán nem biztos, hogy megfelelő eredményre vezetnek egy más típusú terméknél.

A hullámforrasztásnál létrejövő kötések minőségét alapvetően a forraszkád hőmérséklete és forraszhullám magassága befolyásolja. A forraszkád hőmérsékletét tipikusan az alkalmazott forrasztóanyag olvadáspontja fölé 50–70 °C-kal szokás megválasztani. Ez első ránézésre soknak tűnhet, ugyanakkor gondoljunk bele, hogy a forrasztás nem a forraszkádban, hanem a forraszhullám tetején történik. Ezért jóval az olvadáspont fölé kell választani a forraszkád hőmérsékletet, hogy a forraszkádból kilépő (közben hűlő) forraszhullám is megfelelő hőmérsékletű legyen.

A forraszhullám magasságán azt értjük, hogy mennyire merítjük a forrasztandó hordozót a forraszhullámba. Mivel a szállítószalag magassága nem szabályozható ezért ezt a forraszhullám magasságának növelésével és csökkentésével tudjuk beállítani. A forraszhullám magassága leginkább a felvitt forrasz mennyiségére van hatással. Ha túl alacsony a forraszhullám, akkor nem kerül elegendő mennyiségű forrasz a forrasztási felületekre, nem történik meg a megfelelő furatkitöltés és ezáltal megbízhatatlan vagy akár eleve nyitott kötések keletkeznek. Ha viszont túl magas a forraszhullám, akkor túl nagy mennyiségű forrasz kerül az áramkör felületére, amely zárlatok és forraszgolyók megjelenéséhez vezethet.

A hullámforrasztó berendezés beállításait az ún. hőprofil mérésekkel ellenőrizhetjük.

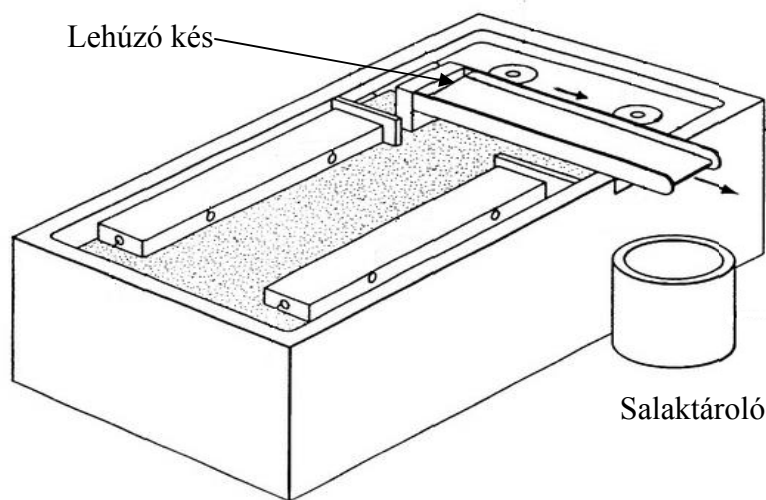
#### *Hullámforrasztó berendezés karbantartása:*

A hullámforrasztók megfelelő működéséhez elengedhetetlen a rendszeres karbantartás. A hullámforrasztás egyik legfőbb hátránya a folyamatos ún. salakképződés a forraszkádban. A forraszkád tétjén lévő forraszanyag még nitrogén atmoszféra használata esetén is folyamatosan oxidálódik, ami az olvadt forrasz tején úszó összefüggő salakréteg kialakulásához vezet (3.23. ábra). A salak oxidálódott forraszanyag, amely forrasztásra alkalmatlan, ezért meg kell akadályozni, hogy a forraszhullámba kerüljön. Ezt egyrészt úgy oldjuk meg, hogy a hullámot kialakító pumpa a forraszt a kád aljáról szívja, valamint a forrasz hullám önmagában is távol tartja a salakot a forrasztástól. Viszont bizonyos időközönként gondoskodnunk kell a salak eltávolításáról.

A salak eltávolítás történhet manuálisan, kés segítségével, amivel lehúzzuk a képződött salakot az olvadt forrasz felületéről majd egy erre alkalmas tároló edénybe ürítjük. A modern, nagykapacitású hullámforrasztóberendezések ezt automatikusan elvégzik helyettünk ún. salak eltávolító rendszerrel, ami a 3.24. ábraán látható.



3.23. ábra. Összefüggő salakréteg a forraszkádban



3.24. ábra. Automatikus salakeltávolító rendszer

A forraszkádban elhelyezett salaklehúzó kés megadott időközönként (pl. 30 perc) „legereblyézi” a forraszkád felszínének egy részéről a képződött salakréteget és azt a salaktárló edénybe üríti. Ahogy a 3.25 ábra is mutatja, a rendszer csak a salak egy bizonyos részét képes eltávolítani, ezért az automatikus eltávolítás mellett is legalább műszakonként vagy naponta egyszer el kell végeznünk a teljes salak eltávolítást manuális módszerrel.

Az összegyűjtött salak **veszélyes hulladéknak minősül** ezért kezelésénél ennek megfelelően kell eljárni. Manapság sok cég alkalmaz ún. salak feldolgozó rendszereket, amelyek képesek az összegyűjtött salakból bizonyos százalékban hasznos forraszanyagot visszanyerni. A hullámforrasztás másik súlyos problémája, a forraszal fizikai kapcsolatba kerülő alkatrészek elhasználódása. Az olvadt forrasz igen gyorsan és hevesen reakcióba lép a környezetében található fémmel és beoldja azt. Ez különösen igaz az ólommentes forraszanyagokra. A 3.25. ábrán elkorrodált forraszkád belseje látható.



a.) a kádfal



b.) a forraszkád

3.25. ábra: Korrózió a forraszkádban

A hullámforrasztó berendezés gyártói ez ellen különféle felületi bevonatok (speciális festékek, kerámia rétegek stb.) segítségével próbálnak védekezni, de a forraszkád és a forrasz pumpa élettartama még így is rövid (1–2 év), a teljes berendezés élettartamához képest. Ezért ezeket az alkatrészeket meghatározott időközönként cserélni kell.

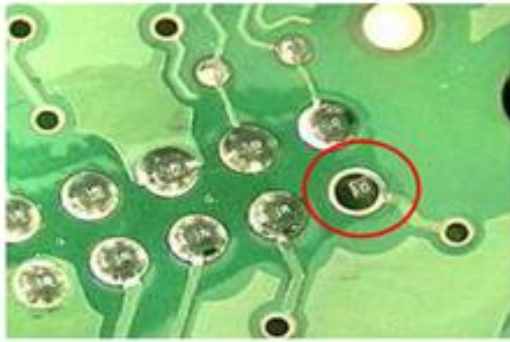


3.26. ábra: Forrasz rudak

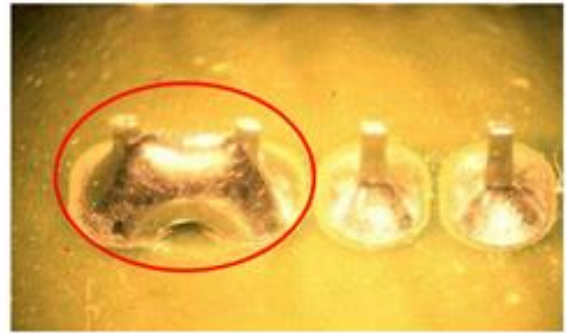
A hullámforrasztáshoz használatos forraszokat forrasz rudakban árusítják (3.26. ábra). Fontos hangsúlyozni, hogy általában a forraszkádat csak a benne lévő forraszanyaggal megegyező összetételű forrasszal szabad utánpótolni. (Ez alól kivételt képezhetnek az Sn/Ag/Cu forraszok, ahol megengedett az Sn/Ag forrasszal történő utánpótlás is.) Ellenkező esetben olyan forrasz ötvözet képződik a kádban, amelyről nem rendelkezünk semmilyen információval (pl. olvadási és megszilárdulási pontok).

*A hullámforrasztás hibajelenségei:*

Nem megfelelő forraszmennyiség: A hullámforrasztó berendezés forrasztási paramétereinek beállításánál már tárgyaltuk, hogy a hullámmagasság leginkább a felvitt forrasz mennyiségére van hatással. Miszerint a túl alacsony hullámmagasság nyitott kötéseket (3.27. ábra), míg a túl magas hullámmagasság túl sok forrasz felvitelét eredményezheti (3.27. ábra), zárlatképződését is előidézhetheti.



a.) nyitott kötés

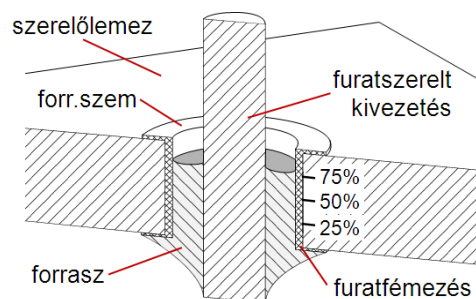


b.) rövidzár

3.27. ábra. Nem megfelelő forraszmennyiség

A nem megfelelő forrasz mennyiség további okozója lehet az **elégtelen nedvesítés** a forrasztás során. Ezt kiválthatja a folyasztószer hiánya vagy a megfelelő folyasztószer mennyisége esetén a nem elégséges előfűtés (túl alacsony hőmérséklet és/vagy túl rövid előfűtés), ami miatt a hordozóra felvitt folyasztószer nem aktiválódik kellőképpen. Ezen felül nedvesítési problémához vezethet a túl alacsony forraszkád hőmérséklet, ami miatt a kontaktus felületekre kerülő forrasz már túl hideg a megfelelő nedvesítéshez.

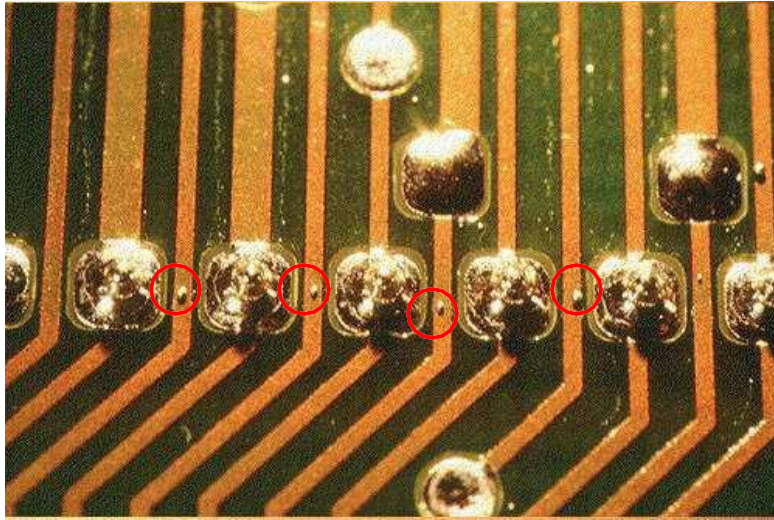
A kötés teljes hiányánál sokkal nehezebben észlelhető az a forrasztási hiba, amikor megindul a forrasz felfutása a kivezetőn, de a furatkitöltés nem lesz megfelelő mértékű. Ekkor a létrejövő kötés mechanikai szilárdsága és megbízhatósága csökken, ezért szabványok (pl. IPC-A-610D) általában minimum 75 %-os furatkitöltést írnak elő (3.28. ábra).



3.28. ábra: Furatkitöltés

Forraszgolyó képződés: A forraszgolyó képződés a hullámforrasztás legtipikusabb és leggyakoribb hibája, valamilyen szinten gyakorlatilag mindig előfordul. Ezek a forraszgolyók úgy jönnek létre, hogy a forrasztás során a forraszból apró darabok válnak ki, amik a forrasztásgátló lakkon megtapadnak, és apró golyókká alakulnak (3.29. ábra).

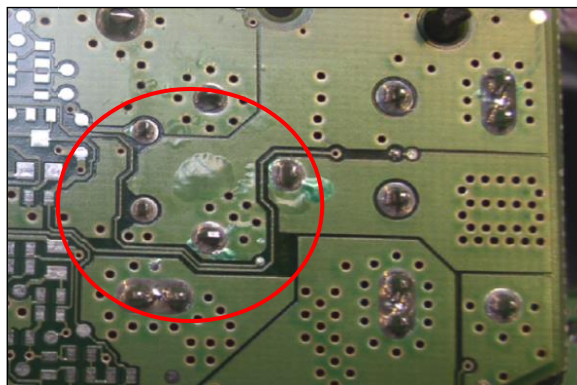




3.29. ábra Forraszgolyók az alkatrész-kivezetések közt

A forraszgolyók önmagukban nem okoznak problémát, azonban ha beékelődnek egy finom raszterosztású alkatrész kivezetései közé könnyedén zárlatot okozhatnak. Ebből kifolyólag a forraszgolyók száma leginkább a hullámmagasság változására reagál, magasabb hullámnál több, míg alacsonyabbnál kevesebb keletkezik, de teljesen el sosem tűnnek. Ezért a legtöbb gyártó valamilyen tisztítást alkalmaz (pl. ESD kefe) a hullámforrasztás után, amivel eltüntetik a forraszgolyókat.

Túl magas forrasz hőmérséklet: A túl magas forrasz hőmérséklet (forrasz kád hőmérséklet), az alkatrészek sérüléséhez és tönkrementteléhez vezethet. Ezen felül okozhatja a forrasztásgátló lakk sérülését is, úgymint a lakkréteg elszíneződése, felhólyagosodása, vagy akár néhány helyen teljes leválása (3.30. ábra). A mechanizmus kiváltó oka a forrasztás közben a szerelőlemezt ért hősokk. Ha az előmelegítés során a szerelőlemez nem melegszik fel kellőképpen vagy a forrasz hőmérséklete túl magas, akkor a forrasztás során bekövetkező intenzív hőátvitelt a forrasztásgátló lakk már nem képes elviselni.



3.30. ábra: Felhólyagosodott forrasztásgátló lakk



Forraszfelválási jelenségek: A forraszfelválási jelenségek, az ólommentes forraszok használatakor felmerülő, részben új problémák (az ólmos forraszoknál nem volt tapasztalható a ma ismert egyik megjelenési formája sem). A forraszfelválás a kötési hibák közé sorolható, furatszerelt alkatrészek furatgalvanizált furatokba történő forrasztásánál jelentkezik. A forraszfelválásnak három változata ismert, amelyek: a „fillet lifting” (forraszfelválás), a „padlifting” (forraszszem felválás) és a „tearing” (forrasztörés). Az egyes típusokat a 3.31. ábra illusztrálja.



3.31. ábra: A forraszfelválás egyes megjelenési formái

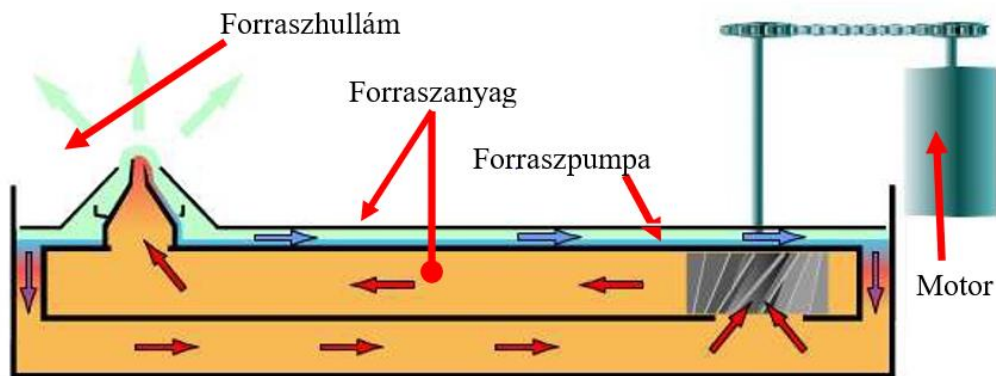
Míg a forraszfelválás esetében a forrasztási felülettől válik el a megszilárduló forrasz, addig a forraszszem felválásnál a megszilárduló forrasz eltöri a kontaktus felületet, majd a forraszszem érintkező felét elemeli a hordozótól. A forrasztörésnél pedig a megszilárduló forrasz elrepedezik. Így mind a három esetben kontaktushiba keletkezhet, leromlik a kötés mechanikai szilárdsága, valamint lecsökken az élettartama. A három eset közül azonban a legveszélyesebb a forraszszem felválás, mivel ilyenkor a legnagyobb a valószínűsége az azonnali kontaktushibának, ami ráadásul nem is javítható. A forraszfelválási jelenségek egyértelmű okozója a túl gyors hűlés a forrasztást követően. Ezért, ahol indokolt a forrasztást követően a hűtőzónába a hűtést lassító fűtőpanelek szerelhetők.

### 3.5. SZELEKTÍV FORRASZTÁS

A hullámforrasztás mellett a furatszerelt alkatrészek másik forrasztási alternatívája az ún. szelektív forrasztási technológia, amely nevéből adódóan nem az egész áramkör felszínén végzi el a forrasztást, hanem csak ott, ahol az alkatrész található. Ez különösen előnyös olyan vegyes szerelésű áramkörök esetén, ahol az alkatrészek nagy része felületszerelt és mindössze néhány csatlakozó, nagyobb méretű kondenzátor, motor, tekercs stb. rendelkezik furatszerelt kivezetéssel. A szelektív forrasztás három fő technológiai irányra bontható, amelyek a pontszerű, a multiwave és a merítő (vagy más néven bélyeg) szelektív forrasztás. A következőkben ezekkel ismerkedünk meg részletesebben.

#### 3.5.1. Pontszerű szelektív forrasztás:

A pontszerű szelektív forrasztási technológia lényege, hogy egy speciális forrasztófejjel pontszerű forraszhullámot állítunk elő. Ezt a pontszerű forraszhullámot pedig a forrasztási helyek alá pozícionálva, kivezetőnként létrehozuk a forrasztott kötéseket. A forraszhullámnak mindig mentesnek kell lennie az oxidoktól, és a különböző szennyező és salakanyagoktól, ezért az olvadt forraszanyagot a forraszpumpa segítségével állandóan áramoltatják a 3.32. ábra illusztrált módon.



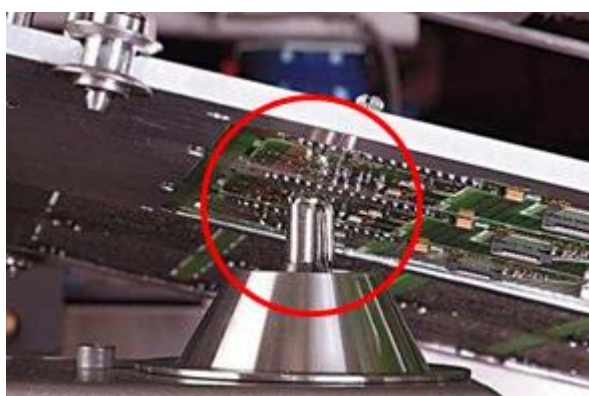
3.32. ábra. Pontszerű forraszhullám létrehozása

A forrasztást általában itt is nitrogén atmoszféra alatt végezzük, ami csökkenti a forraszanyag oxidálását, és javítja a nedvesítést is.

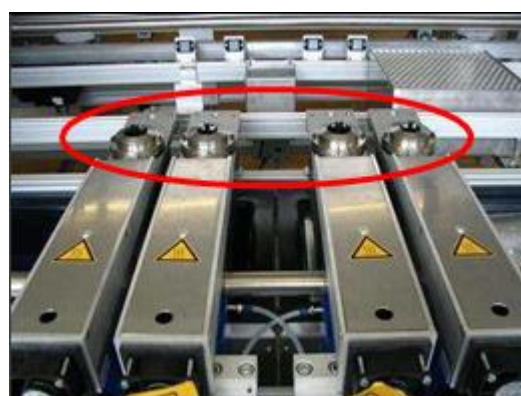
A forrasztás során a forraszhullámot és a beforgasztandó szerelőlemezt pozícionálni és mozgatni kell. Ez történhet a forrasztófej mozgatásával, a szerelőlemez mozgatásával vagy mindkettő együttes mozgatásával. A legelterjedtebb azonban az a megoldás, amikor a forrasztófej mozog a fixen rögzített áramkör alatt. A berendezést kétféle üzemmódban használhatjuk:

- **forrasztás lehet pontszerű**, amely olyan pontok forrasztására alkalmas, ahol a fej által előállított hullám lefedi a forrasztandó felületet (egy kivezetés)
- **forrasztás lehet vonalszerű**, amely során a hullámot végig húzzuk a forrasztandó felületen, ez a módszer például hosszú csatlakozósorok forrasztására alkalmas

A 3.33. ábra egy szimpla forrasztófejet mutat munka közben. Léteznek olyan berendezések is, amelyek több forrasztófejet használnak egyszerre. Ezek egymástól függetlenül mozgathatók, és akár különböző összetételű forrasztanyaggal is dolgozhatnak. Egy ilyen, négy fejet és két tartályt tartalmazó berendezést mutat a 3.33. ábra.



a.) szimpla forrasztófej munka közben



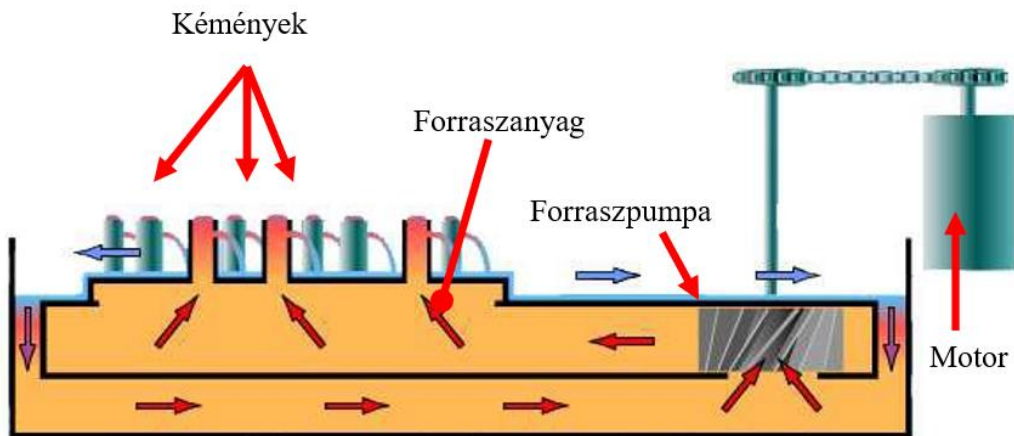
b.) négy forrasztófejes berendezés

3.33. ábra: Pontszerű forrasztófejek

A pontszerű forrasztási technológia hátránya, hogy a folyamat igen időigényes, ugyanis minden forrasztott kötést egyenként, egymás után kell létrehozni. Így a forrasztandó kivezetések számával arányosan növekszik a forrasztáshoz szükséges idő is. Ezért általában csak ott alkalmazzuk, ahol nagyon kevés furatszerelt kivezetés (max. 10–15 db) található az áramkörön (pl. mikro-motorok, kondenzátorok). Ugyanakkor a technológia előnye, hogy nem használ semmilyen egyedi, termék-specifikus szerszámot a forrasztáshoz, így a termékváltás igen egyszerű, és szinte semmilyen plusz költséggel nem jár, hiszen csak a berendezés vezérlőprogramját kell módosítani.

### 3.5.2. Multiwave szelektív forrasztás:

A multiwave szelektív forrasztás lényege, hogy nem csak egy pontszerű forraszhullámot hozunk létre, mint a pontszerű forrasztásnál, hanem a szerszámtesten kialakított kéményeken keresztül, több egymástól független apró forraszhullámot hozunk létre a 3.34. ábra illusztrált módon.



3.34. ábra: A multiwave forrasztás

A kémények nem pontszerű hullámot állítanak elő, hanem mindig olyan alakút, amely az adott alkatrész összes kivezetését lefedi. A forrasztás folyamata úgy zajlik le, hogy a forrasztandó szerelőlemezt a forrasztószerszám fölé pozícionáljuk, majd a forrasztószerszámot az olvadt forrasztanyagot tartalmazó káddal együtt addig emeljük, míg a forraszhullám el nem éri a forrasztási felületeket. Ezután a forrasztószerszám visszasüllyed, és a szerelőlemez elhagyja a berendezés munkaterét. Egy forrasztószerszámot az általa létrehozott forraszhullámokkal a 3.35. ábra illusztrálja.

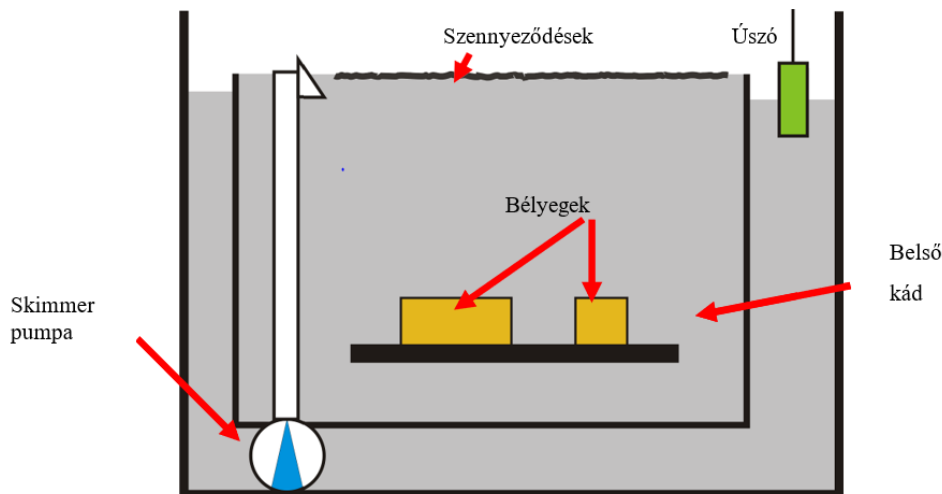


3.35. ábra: Multiwave forrasztószerszám által létrehozott forraszhullámok

A multiwave technológia előnye, a pontszerű szelektív forrasztással szemben, hogy az egész áramkör felszínén egyszerre történik meg minden kötés létrehozása, így a forrasztási idő jelentős mértékben lerövidíthető a pontszerű szelektív forrasztáshoz képest. A technológia hátránya, hogy minden egyes terméktípus külön forrasztószerszámot igényel.

### 3.5.3. Merítő (bélyeg) szelektív forrasztás:

A merítő szelektív forrasztási technológia (*Selective mass soldering*) nagyban hasonlít a multiwave szelektív forrasztási technológiára, azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben, a forrasz nyugalomban van, és nem áramlik. Ebben az esetben olyan forrasztószerszámot 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 forraszfürdőből. A bélyegek a rajtuk kialakított mélyedések segítségével olvadt forrasztanyagot emelnek ki a kádból, melyet az áramkör kontaktus felületeihez érintünk, és így létrejön a forrasztandó kötés. A merítő szelektív forrasztó berendezés elvi felépítése a 3.36. ábra látható.



3.36. ábra: Merítő szelektív forrasztó felépítése

Az olvadt forraszt tartalmazó kád tetején, ahogy a hullámforrasztás esetén is, összefüggő oxidréteg képződik. A szerszám kiemelkedésekor ezek a bélyegeket elszennyezhetik, ezért a kád felületét meg kell tisztítani. Erre szolgál az ún. „szkimmer” pumpa, mely a szerszám kiemelkedése előtt olyan áramlatokat hoz létre, melyek lesodorják a szennyeződések a forraszkád tetejéről. A 3.37. ábra forraszfürdőből kiemelkedett bélyegeket mutatja.

A bélyegforrasztás előnye, ahogy a multiwave forrasztásé is, hogy ebben az esetben is egyszerre hozzuk létre az összes forrasztott kötés az áramkörön, így nagyszámú kivezetést tartalmazó csatlakozósorok forrasztására kiválóan alkalmas technológia. A technológia hátránya ebben az esetben is a termék-specifikus szerszámtest szükségessége.





3.37. ábra: Szerszámtestre szerelt bélyegek

### 3.5.4. A szelektív forrasztás hibajelenségei

A szelektív forrasztás hibajelenségei – furatszerelt alkatrészekről lévén szó – nagyban hasonlítanak a hullámforrasztás hibáihoz, ezért az illusztráló ábránál visszahivatkozunk a 3.4 fejezetben bemutatottakra. A kiváltó okok viszont a technológia sajátosságai miatt merőben mások.

#### 3.5.4.1. *Hiányzó kötés*

Hiányzó kötésnek hívjuk (3.27. ábra), ha a forrasztanyag részben, vagy teljes mértékben hiányzik a forrasztott kivezetésekről. Szelektív forrasztás esetén a probléma okozója lehet:

- a túl alacsony forrasztási pozíció (vagy alacsony hullámmagasság) amikor a forrasz nem érintkezik a kivezetéssel és a kontaktusfelülettel,
- a forrasztószerszám kopása, a kémények eltömődése,
- a hullámforrasztásnál már tárgyalt elégtelen folyasztószer felvitel és aktiváció miatti rossz nedvesítés.

#### 3.5.4.2. *Zárlatképződés*

Csakúgy, mint a hullámforrasztásnál, a szelektív forrasztásnál is az egyik leggyakrabban előforduló probléma a rövidzár képződés (3.27. ábra), mely főleg a sűrűn elhelyezett csatlakozósorok esetében fordul elő. A hibajelenség egyik oka az lehet, ha a forrasztást követően a forrasztószerszámot túl nagy sebességgel távolítjuk el a hordozótól, ilyenkor ugyanis a



forraszanyag számára nincs elegendő idő, hogy a megfelelő kötéalakokat (meniszkuszokat) kialakítsa, így a kivezetések között maradt forraszanyag rövidzárat hoz létre. A másik kiváltó ok lehet az elégtelen nedvesítés, ami a nem megfelelő folyasztószer felvitelre, túl alacsony hőmérsékletű előfűtésre vagy forraszhőmérsékletre vezethető vissza.

#### 3.5.4.3. Csúcsképződés

Csúcsképződés során a beforrasztott kivezetés végén hegyes forraszcsúcs alakul ki (3.38. ábra). Ez a hibajelenség akkor léphet fel, ha a forrasztást követően a forrasztószerszám túl lassan távolodik el a paneltől és az olvadt forrasz hőmérséklete a megszilárdulási hőmérséklet közelébe kerül.



3.38. ábra. Forraszcsúcs

A hiba leginkább esztétikai jellegű, a forrasztás mechanikai stabilitását és megbízhatóságát nem befolyásolja.

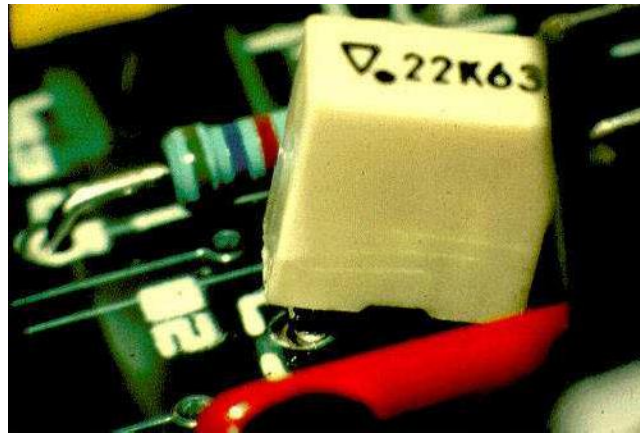
#### 3.5.4.4. A forrasztásgátló lakk hólyagosodása és leválása:

A forrasztásgátló lakk sérülése a szelektív forrasztás esetén is előfordulhat, a hullámforrasztásnál már tárgyalt okok miatt.

#### 3.5.4.5. Ferdén forrasztott vagy hiányzó alkatrész:

Ha a forrasztószerszám és a beforrasztandó hordozó nincs megfelelően pozicionálva, akkor a forrasztószerszám kéményei hozzáérhetnek az alkatrészek kivezetéseéhez, megemelve azokat, majd a forrasztás megszilárdulásával az alkatrészek elferdült állapotban rögzülnek.

Szélsőséges esetekben olyan mértékű is lehet az alkatrészek megemelése, hogy azok kiesnek a helyükről.



3.39. ábra: Ferdén forrasztott alkatrész

#### 3.5.4.6. Forraszgolyó képződés:

A forraszgolyó képződés (3.29. ábra) a szelektív forrasztás másik tipikus és súlyos problémája (a zárlatképződés mellett). Szelektív forrasztás esetén a forraszgolyók kialakulására – az irodalomban fellelhető kísérlet alapján – gyakorlatilag az összes forrasztási paraméter, hatással van valamilyen szinten. Azonban leginkább a forrasztószerszám forrasztási pozícióba állásának sebessége, valamint a forrasztásgátló lakk minősége számít. Ha a forrasztószerszám túl gyorsan közelíti meg a forrasztási pozíciót, akkor a forrasz a forrasztásgátló lakkra fröccsenhet, ahol kialakulnak a forraszgolyók. Lényeges még, hogy a fényes, sima felületű lakkhoz a forrasz jóval nehezebben tapad meg, mint a matt durvább felületi kiképzésű lakkokhoz.

Forraszgolyók az áramkör felső oldalán is létrejöhetnek, ha a furatokon túl nagymennyiségű forraszanyag jut át a felső oldalra, és ott a forrasztásgátló lakkal találkozáva golyókká áll össze.

Csakúgy, mint a hullámforrasztás esetén, a szelektív forrasztásnál sem lehet teljes mértékben megszüntetni a forraszgolyók képződését, ezért a legtöbb gyártó valamilyen tisztítást alkalmaz (pl ESD kefe) a szelektív forrasztás után, amivel eltávolítják a forraszgolyókat.

## 4. A FELÜLETI SZERELÉSTECHNOLÓGIA

Napjaink elektronikai alkatrészeit tekintve a legelterjedtebbek a felületszerelt alkatrészek, amik a moduláramkörök alkatrészeinek 95%-át teszik ki. A felületszerelt alkatrészek tömeges forrasztási technológiája az újraömllesztéses forrasztás. Az újraömllesztéses forrasztáshoz alkalmazott forrasztóanyag a forrasztópaszta, mely apró forrasztószemcsék (20-45  $\mu\text{m}$  átmérőjű szemcsék) és folyasztószer szuszpenziója (4.1. ábra). A forrasztópasztát rendszerint tégelybe vagy tubusba csomagolják (4.2. ábra).



4.1. ábra: Forrasztópaszta fém-szemcséi



a.) tégelyben

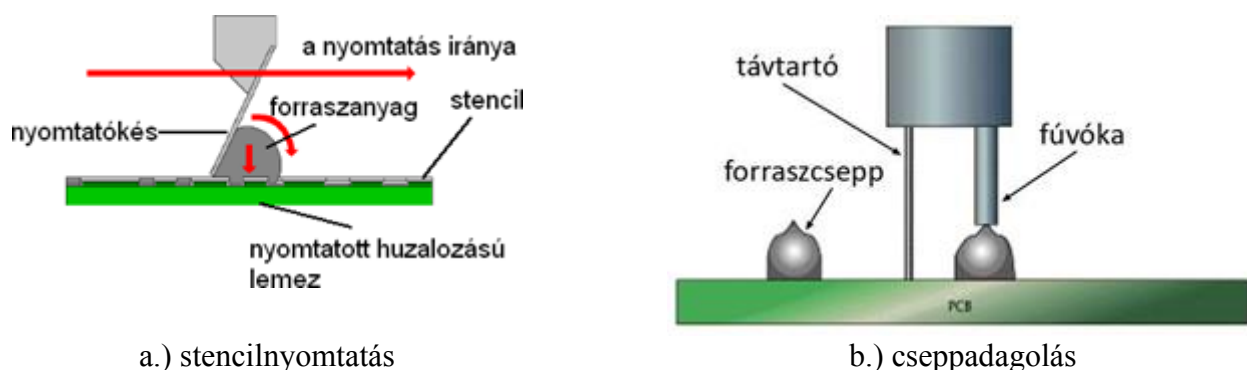


b.) tubusban

4.2. ábra: Forrasztópaszták csomagolása

## 4.1. FORRASZPASZTA-FELVITELI TECHNIKÁK

A forraszpasztát a tömeggyártásban többnyire stencilnyomtatással, a kisebb sorozatú gyártásoknál pedig cseppadagolással (4.3. ábra) viszik fel a szerelőlemezre. A stencilnyomtatáshoz vékony fóliát alkalmaznak, melyen ablakokat alakítanak ki a szerelőlemez (PCB/NYÁK) kontaktusfelületeinek megfelelően. A stencilfólia anyaga többnyire fém, aminek szokásos vastagsága 75-200  $\mu\text{m}$ . A nyomtatási folyamat alatt a stencilfólián kialakított ablakokon keresztül préselik a forraszpasztát a szerelőlemez kontaktusfelületeire. A stencilnyomtatás előnye a gyors, tömeges pasztafelvitel, viszont hátránya, hogy minden egyes terméktípushoz külön stencilmaszkot (stencilt) kell készíteni. A cseppadagolásnál ezzel szemben nincs szükség a viszonylag drága stencilmaszkra, viszont a pasztafelvitel lassú, mert az adagolófej egyesével viszi fel a forraszpasztát a kontaktusfelületekre. A forraszpasztát tekintve kissé különbözik a stencilnyomtatásra és a cseppadagolásra alkalmas változat. A cseppadagolásra alkalmas forraszpaszták fémtartalma kissé kevesebb (85% wt.) szemben a stencilnyomtatásra alkalmas paszták fémtartalmával (89-90% wt.), annak érdekében, hogy a forraszpasztát könnyebben lehessen átréselni a cseppadagoló fúvókáján.



4.3. ábra: Forraszpaszták felviteli technikái

A stencil használata után a maradék pasztát műanyag spatulával távolítják el. A spatulával el nem távolítható paszta maradványoktól (amelyek zömmel az apertúrákban maradnak) gépi mosással lehet a stencilt megtisztítani.

A modern mosó berendezések 3 folyamatlépésben tisztítják meg a stencilt:

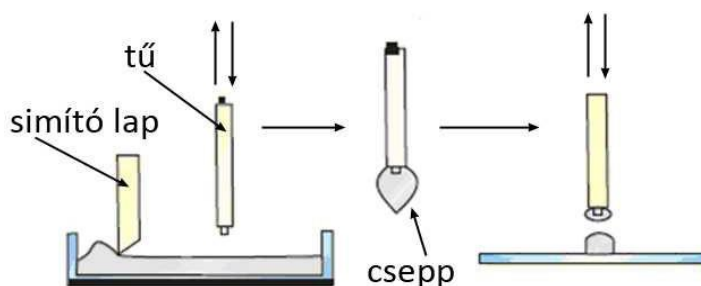
1. Mosás jellemzően vízbázisú szerrel
2. Öblítés vízzel
3. Szárítás

A mosási folyamat után a stencil alkalmas állapotban lesz a tárolásra.

#### 4.1.1. Diszpenzálás, cseppadagolás

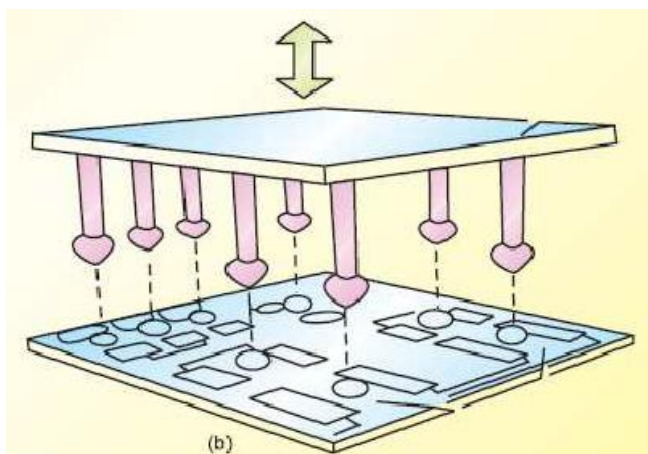
##### 4.1.1.1. Tűs felvitel (Pin transfer)

A tűs felvitel során a tűt a forraszanyagot tartalmazó edény fölé helyezik, majd bele mártják, ekkor a forraszcssepp rátapad a tűre. Ezután a tűt kiemelik az edényből és pozícionálják a szerelőlemez azon pontjához, ahol a forraszpasztára szükség van. Ebben a pontban a tű hegyét hozzáérintik a szerelőlemezhez, és a forraszpaszta átkerül a tű hegyéről a szerelőlemez felületére (4.4. ábra). Figyelni kell arra, hogy a felületi feszültség nagyobb legyen a szerelőlemez és a forraszpaszta között, mint a paszta és a tű hegye között. A cseppek felhordása után következhet az alkatrész-beültetés.



4.4. ábra: A tűs cseppfelvitel folyamata

A cseppfelvitel kapacitása nagymértékben növelhető több tű együttes alkalmazásával. (4.5. ábra) Ezen módszernél egy, a tűk rögzítésére alkalmas, fémlapot használnak, melyen a szerelőlemezen elhelyezendő cseppek helyének megfelelően tűket helyeznek el. A tűsört így egyszerre lehet mozgatni mind a forraszpasztát tartó edény, mind pedig a szerelőlemez fölött, és egy lépésben egyszerre több csepp helyezhető el a megfelelő pozícióba.



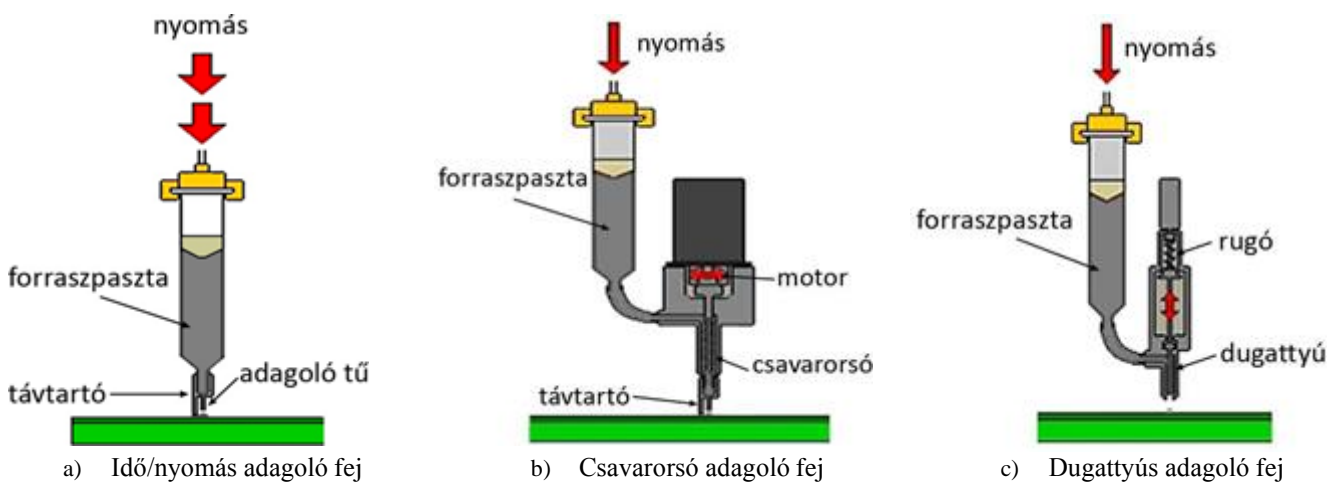
4.5. ábra: Cseppfelvitel több tű együttes alkalmazásával

Mint minden felviteli módnál, így a tús felviteli eljárásnál is fontos technológiai követelmények a cseppek pontos pozíciója és mennyisége vagy fizikai kiterjedése.

Sorozatgyártás során a tűk folyamatosan mozognak a tartály fölött „z” irányban. Ha túl gyors az adagolás, akkor az edényben lévő forraszpasztta felszíne nem tud kisimulni két felvitel között. Ez ahhoz vezet, hogy bizonyos tűk nem képesek pasztát felvenni, így ismételhőségi problémák lépnek fel. A tús felvitel a legolcsóbb, leglassabb és legkisebb beruházást igénylő felviteli eljárás. A tús felviteli eljárás előnyeit és hátrányait figyelembe véve kis darabszámok és prototípusok gyártására alkalmas metódus.

#### 4.1.1.2. Diszpenzerek

A legrégebbi és legelterjedtebb diszpenzációs eljárás az idő/nyomás adagoló, ami egyben a legérzékenyebb is. Szokták sűrített levegős diszpenzereknek is nevezni. Működésének lényege, hogy egy dugattyú sűrített levegő segítségével a beállított rövid időre a beállított nyomás alá helyezi a fecskendő, miáltal az adagoló tűn keresztül a szerelőlemez megfelelő helyére forraszcsepp préselődik. A nyomás és idő értékek mellett az adagoló tű és a távtartó méretétől is függ a felhordott csepp térfogata.



4.6. ábra: Különböző diszpenzer adagoló fejek

A gyártás során fontos a tű folyamatos ellenőrzése és tisztítása az eltömődés megakadályozás érdekében. Ezen kívül időszakszerű ellenőrzésre szorul a távtartó hossza is, mert a használat során folyamatosan kopik, mert ütközik a szerelőlemezzel. A szög, amivel a távtartó az adagoló tűhöz



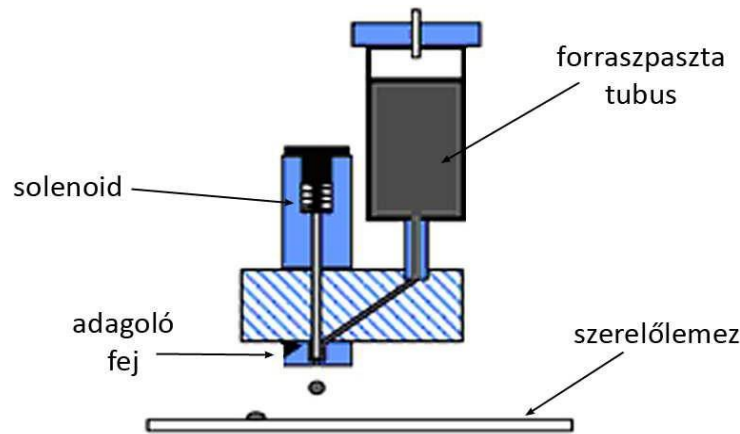
van rögzítve, szintén nagy odafigyelést igénylő beállítási lehetőség. A távtartónak nem szabad beleérnie a korábban felhordott cseppekbe.

A csavarorsós diszpenzer (auger pump), szokás Archimedes adagolónak is nevezni, a forraszpasztát tároló tubusból és motorral meghajtott csavaros tengelyből áll. A tubust folyamatosan nyomás alatt kell tartani, ezzel biztosítva a forraszpasztá átnyomódását az adagoló csőben elhelyezkedő csavarorsóhoz. A csavarorsó a forgásával mozgásba hozza a forraszpasztát, mely az adagoló tűn keresztül elhagyja a zárt rendszert. A szerelőlemezre felhordott csepp mennyiség arányos az elfordulás szögével és függ az adagoló tű átmérőjétől is. Minél többet fordul a tengely, annál több a kipréselt csepp mennyisége. A csavarorsós diszpenzernél is fontos az adagoló tű átmérője és a távtartó hossza. Ennél a típusnál is elengedhetetlen a tű és a távtartó méreteinek beállítása. A csavarorsós rendszer közel 10%-os pontossággal alkalmazható a térfogatra vonatkozóan.

A dugattyús rendszerű diszpenzer nyomás alatt tartott tubusból és rugóterhelésű dugattyúból áll. A forraszpasztát tároló tubust folyamatosan nyomás alatt kell tartani, ezzel biztosítva a ragasztó átnyomódását az adagoló csőbe. A rugóterhelésű dugattyú mozgatja a forraszpasztát az adagoló tűn keresztül a szerelőlemezre. Minden egyes dugattyú elmozdulás ugyanakkora csepptérfogatot eredményez. A dugattyús diszpenzerek csak kis cseppméretet tudnak egyszerre fölvenni, nagyobb térfogatú csepp elérése érdekében egymásra több cseppet helyeznek. Ezeknél a rendszereknél csak egy fajta tűátmérőt használnak, és nem használnak távtartót sem, ezért kontaktus nélküli diszpenzerek nevezik. A dugattyús diszpenzerek érzékenyek a ragasztóban lévő levegőre, illetve bonyolult és időigényes a tisztításuk.

Működése hasonló a dugattyús diszpenzerek működéséhez. Az adagoló fej a szerelőlemez felett csupán 'x' és 'y' irányban mozog. A tűs adagoló rendszereknél a folyadék átáramlás idejére az adagoló fej megáll a szerelőlemez felett, ami nagyban növeli az ütemidőt. A sugaras típusú rendszereknél nem áll meg az adagoló fej a cseppfelvitel közben (4.7. ábra). A kontaktusmentes adagolórendszer nagy sebességre és pontosságra képes. A sugaras adagolás a hagyományos tűs adagolással szemben jelentős minőségbeli javulást jelent. Ezzel az eljárással nagyon gyorsan és nagyon kicsi átmérőjű forraszpontokat lehet felvenni. A tartályban itt is levegő biztosítja a túlnyomást, de itt ez a nyomás állandó, nem csak lökésszerűen lép fel. A tartályban a nyomás nagyobb, mint a csavarorsós adagolónál, a paszta szinte kilőhető a felszínre. A tartály nyitását egy piezoelektromos csúszószeleppel oldják meg, így a nyitás-zárás periódus kevesebb, mint 5 ms alatt végrehajtható. A felhordott pasztapöttyök méretének kicsi a szórása (256 µm-es átlagos

cseppméret esetén a szórás  $22 \mu\text{m}$ ), nagyon pontosan lehet vele dolgozni. A nagyon gyors szelepvezérlés hatásaként az óránként adagolt forraszpaszta cseppek száma 20 000, míg a csavarorsós működtetés esetén 11 250. Érzéketlen a szerelőlemez magasságbeli egyenetlenségeire. Hátrány, hogy a sugaras rendszerű diszpenzerek is komplex tisztítást igényelnek.



4.7. ábra: Sugaras típusú diszpenzer felépítése

A különböző, diszpenzációhoz alkalmas forraszpaszta típusok érzékenyek a külső körülményekre, így a hőmérsékletváltozásokra, mely nagymértékben befolyásolja a forraszpaszták viszkozitását. Az egyes diszpenzációs eljárások pedig általában érzékenyek a forraszpaszták fizikai tulajdonságainak megváltozásaira, így a viszkozitás megváltozása negatívan hat a szerelőlemezre felvitt cseppek minőségére-mennyiségére. Ezen körülményeket figyelembe véve minden diszpenzert hőmérséklet szabályozással látnak el és a gyártás folyamán is érdemes ellenőrizni a cseppek minőségét és mennyiségét.

#### 4.1.2. Stencilnyomtatás – stencil típusai

A felületi szereléstechológiában a stencil alkalmazása lehetővé teszi a pontos és megismételhető forraszpaszta felvitelét. A stencil feladata kettős:

- jól meghatározott mennyiségű (térfogatú) és alakú forraszpaszta felvitele,
- a hordozó megfelelő helyére (azaz csak a forrasztási felületekre).

A stenciltervezés és a szerelőlemez elválasztása során lényeges szempont, hogy minél nagyobb

mennyiségű forraszpasztta jusson a hordozóra és minél kevesebb ragadjon bele az apertúrákba. Ezért a stencilnyomtatás során a stencil tervezési és gyártási minősége döntően befolyásolja a forraszpasztta-nyomtatás végeredményét.

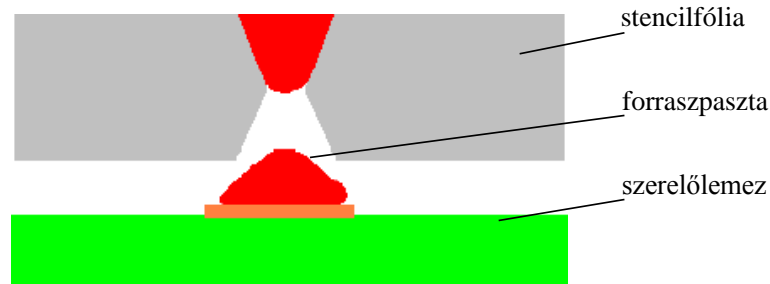
A stencilek készítése általában három különböző módon történhet, kémiai maratással, lézervágással és galvanoplasztikai (fémnövesztés) eljárással. Az első két módszer (kémiai maratás, lézerral vágás) a szubtraktív technológia körébe tartozik, míg a galvanoplasztikai eljárás során additív technológiával történik a stencilapertúrák kialakítása. A három különböző módon előállított stencil között jelentős az árkülönbség. Különbség van például abban is, hogy az egyes stencileket hol használják leginkább, mekkora az a legkisebb apertúra-méret, amely megvalósítható, illetve mennyire nehéz a stencilek tisztítása miután már átpréseltük a forraszpasztát.

#### *4.1.2.1. Kémiai maratással előállított stencil*

A stencilmaszkok előállítására régebben az egyik legelterjedtebb módszer a kémiai maratás volt mivel a leginkább költséghatékonyak és a leggyorsabb megtérülési idejűek. A kémiai úton mart rozsdamentes acél stencilek alapanyagát, a fém fóliát hidegen hengereléssel állítják elő; a stencilnek a fóliatábla középső részét szokás felhasználni, mert ott egyenletesebb a vastagsága, mint a szélek felé. A maratási eljárásnál a vékony sárgaréz-, bronz vagy rozsdamentes acéllemez mindkét oldalát pozitív fotoreziszt saválló anyaggal vonják be, majd ezt a fényérzékeny anyaggal bevont lemezt ultraibolya sugárzásnak teszik ki. A fotoreziszt anyag fénnel érintkező részeinek leoldása után a lemezt savval maratják. Ahol leoldódott a fényérzékeny anyag, ott a lemezen a sav ablakokat mar és így jön létre a stencil. A kémiai maratással készült stencilfólia ára hozzávetőleg 10.000 Ft (2009-es adat).

A stencil apertúráinak keresztmetszete úgynevezett, "homokóra" alakú lesz (4.8. ábra), amelynek oka az, hogy a marószert vízszintes irányban is marja a lemezt. Az apertúrák méretének csökkenésével a késél keresztmetszet egyre nagyobb hátrányt jelent. A jellegzetes apertúraprofil miatt 0,63 mm alatti apertúraméret esetén a stencil anyagának benyúlása az apertúrába egyre jelentősebb (azonos vastagság esetén), akadályozva a forraszpasztta átnyomódását. A forraszpasztta nagy eséllyel beleragadhat az apertúrába, ezáltal nem a megfelelő mennyiség válik le a szerelőlemeze.

Másik probléma, hogy a forraszpasztáknak adhéziós erejük van (ragadás) a bennük lévő folyasztószer miatt, így könnyen rátapadnak, majd rászáradnak a stencil apertúra falára. A kémiai maratással előállított stencilapertúrák fala meglehetősen érdes, így finom osztástávolságú alkatrészekhez nem alkalmazható. Ezért a mai elektronikai tömeggyártásban nem alkalmazzák.



4.8. ábra: Kémiai maratással készült stencilapertúra keresztmetszete

#### 4.1.2.2. Lézerrel vágott stencil

A mai elektronikai iparban leggyakrabban alkalmazott stencilek a lézerrel vágott stencilek. A vágáshoz számítógép vezérelt CO<sub>2</sub> vagy YAG lézert használnak. A lézeres vágási eljárással kialakított stencilek a legelterjedtebbek napjainkban. Az ár/érték arányuk az ezzel a technológiával készült stencileknek a legkedvezőbb, így tömegesen alkalmazzák. A lézerrel vágott stencilek alapanyaga általában rozsdamentes acél vagy ritkábban nikkell. A stencilfólián az apertúrákat egyenként alakítják ki a nagy intenzitású lézernyalábbal (4.9. ábra). Minél több nyílást kell a lemezen vágni, annál több időt vesz igénybe a stencil gyártása, illetve a gyártás költsége is nő, mivel a lézernyaláb egyesével vágja ki az apertúrákat. A lézerrel kialakított stencillemez apertúrájának keresztmetszete trapéz alakú (4.10. ábra). A lézeres vágás nagy előnye, hogy közvetlenül az eredeti tervezői adatokból állítják elő, a technológia jellemzője a fotólitográfiai lépések teljes hiánya, ezáltal megszűnik az ezekből származó hibák keletkezési lehetősége. A gyártói fájl a megfelelő módosítások után áttöltik a lézervágó berendezésbe, közvetlenül irányítva azt, így sokkal kisebb a hibázási lehetőség, valamint pontosan reprodukálható az adott mintázat.



4.9. ábra: Stencilkészítés lézervágással



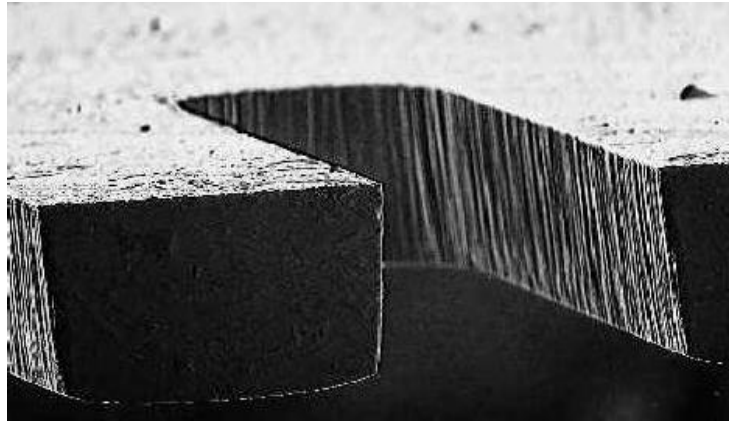
4.10. ábra: Lézerrel vágott stencil apertúra

A lézervágással létrehozott stencil apertúráinak legkisebb távolsága akár 0,4 mm (16 mil.) is lehet. A lézerrel vágott stencil legalább egy nagyságrenddel drágábbak, mint a kémiai maratással előállított stencil. Ezek a stencil hozzávetőleg 80 000 – 120 000 Ft-ba kerülnek (2009-es adat).

#### 4.1.2.3. Galvanoplasztikai eljárással előállított stencil

A stencilkészítés harmadik módja az úgynevezett galvanoplasztikán alapszik (4.11. ábra). Ez az előző két gyártási módtól eltérően nem szubtraktív (azaz az anyag „kivonásával” készülő) technológia, hanem additív. Tehát ebben az esetben egy maszkon keresztül egy rézlemezre fém (többnyire nikkelt) galvanizálnak, azokra a helyekre, ahol szükséges. A galvanoplasztikai eljárással lehet a legjobb minőséget elérni a stencilkészítési technológiák közül, de az eljárás magas költségei miatt csak indokolt esetben választják ezt a megoldást. A galvanizálás következtében rendkívül sima apertúra falfelület alakul ki (a nikkelatomok hozzásimulnak a fotóreziszt maszkhoz), ami csökkenti a forraszpasztát és a stencil anyaga közötti súrlódást,

megkönnyítve ezáltal a forraszpaszta leválását (4.11.).



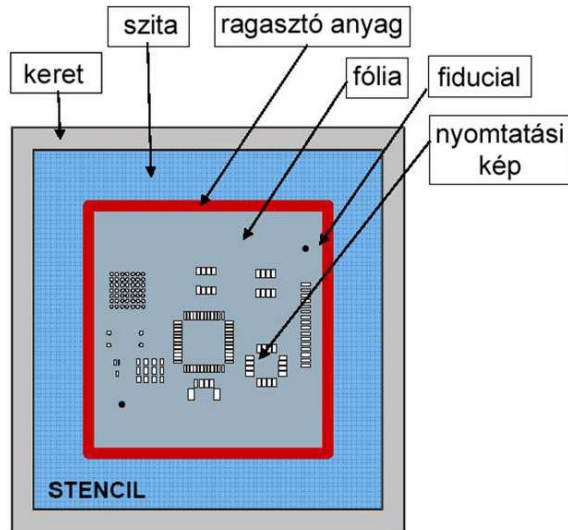
4.11. ábra: Galvanoplasztikai eljárással készített stencil apertúra

A galvanizálás útján létrehozott stencilek vastagsága jellemzően a 25-300  $\mu\text{m}$ -es (1-12 mil.) tartományba esik, itt a vastagság fokozatmentesen bármekkora lehet, a stencil vastagságát a galvanizálási idejehatározza meg. Ezzel a módszerrel valósítható meg a legkisebb osztástávolságú alkatrészek szereléséhez szükséges stencil. Ez azt jelenti, hogy az így előállított stencilek apertúráinak távolsága kisebb lehet, mint 0,3 mm (12 mil.). A legdrágább stencilek galvanoplasztikai módszerrel készülnek. Ezek ára elérheti a 250 000 Ft-ot is (2009-es adat). Minél vastagabb stencillemezt készítenek, annál több ideig tart a gyártás folyamata és ez által a költségek is nőnek. Ha nincs szükség finom raszter-osztású alkatrészek elhelyezésére, akkor nem feltétlenül kell ilyen módszerrel készített stencilt vásárolni. Ilyen esetben megfelelnek az olcsóbb, más módszerrel gyártott stencilek is.

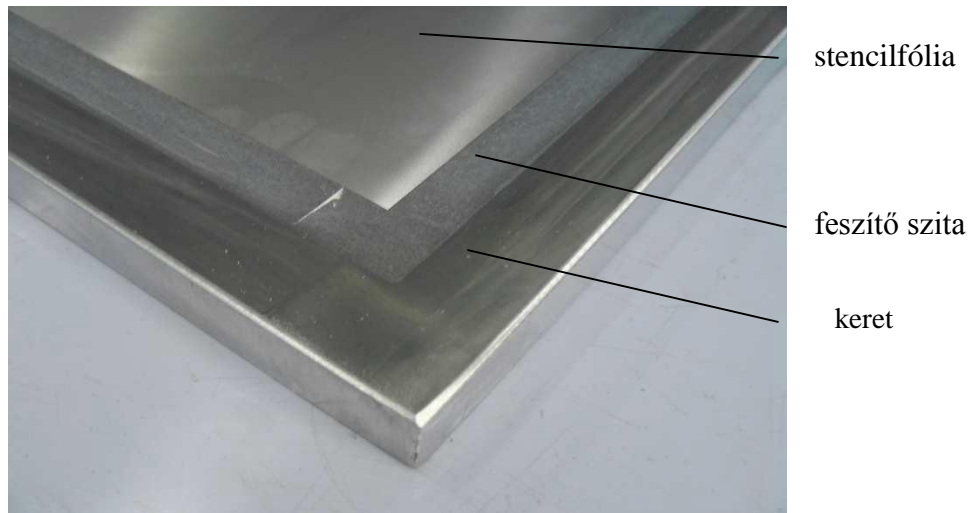
#### 4.1.2.4. Stencilek rögzítése

A stencilfólia elkészítése és az apertúramintázat kialakítása után a stencil még nem áll készen a stencilnyomtatás feladatainak ellátására. Az elkészült fém fóliát keretre kell feszíteni, hogy a fólia kellőképpen sík és feszes legyen. A stencilek feszítésére kétféle módszer ismert. Az egyik módszer az, amikor minden stencillemezhez külön keret tartozik. A stencil fóliát egy poliészter vagy rozsdamentes acélháló rögzítik (4.12. ábra, 4.13. ábra).





4.12. ábra: Stencil szerkezete



4.13. ábra: Alumíniumkeretbe rögzített stencilfólia

A másik rögzítési mód a cserélhető fóliákon alapszik. Használat után a stencil-fóliát kiveszik a keretből, és helyére új fólia illeszthető. Az így rögzíthető fóliák tárolása sokkal hatékonyabb, mint az előző módszerrel rögzített stencilké. Könnyebb a fóliák kikeresése a tárolóhelyről és a gépkezelő személyzet számára is kisebb fizikai igénybevételt jelent ez a megoldás. A stencilbeszerzés költségei is alacsonyabbak, mert nem kell minden fóliához külön keretet vásárolni. Elég néhány cserélhető keret megvásárolni, amelyekkel az összes stencil használható. A cserélhető fóliák gyártása kissé eltér a hagyományos stencilfóliák gyártásától. Ezekben a stencilteken a gyártás során téglalap alakú nyílásokat vágnak a fólia mindegyik szélébe (1.14. ábra).

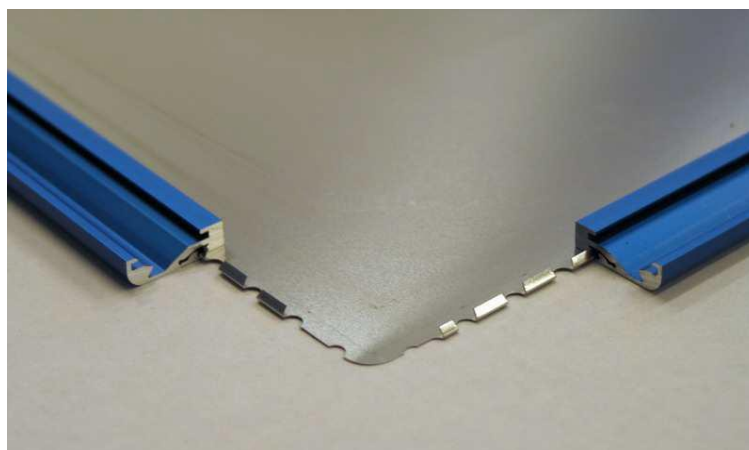


4.14. ábra: A cserélhető fóliákon létrehozott és a rögzítéshez használt nyílássorok

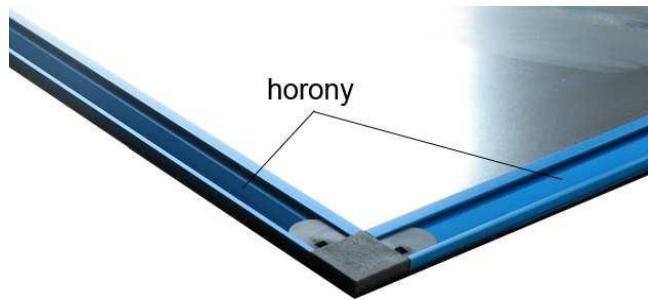
A fóliához használt keret minden oldalán egy sor fésű található. Ezek felelnek meg a fóliákon vágott nyílássoroknak. Ezek a fésűsorok sűrített levegő hatására visszahúzódnak és ez által a stencilfóliát a keretbe erősíti. A feszítésnél a fóliát az igazító alátámasztásra helyezik és pneumatikus rendszer segítségével ráfeszítik a keretre. A pneumatikus rendszer automatikusan a helyes feszítettséget állítja be az x és y irányokban. Ezt követően a stencil bekerülhet a nyomtatógépbe.

Az első generációs keretekkel ellentétben a második generációs keretek (4.15. ábra és 4.16. ábra) nem igényelnek alátámasztást a feszítéshez. A módszer egyik legfontosabb újítása az, hogy az acélfólia széleire a gyártás során extrudált alumíniumból készült keretet rögzítenek, amely védi a fólia széleit (4.17. ábra, 4.18. ábra, 4.19. ábra).

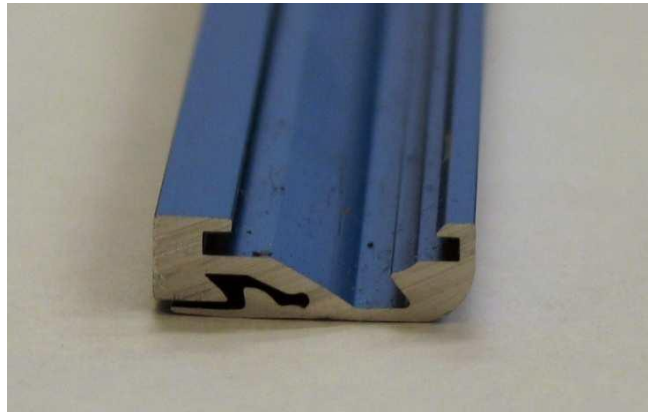
A gyorsrögzítő keretbe történő feszítés gyorsabb, egyszerűbb és biztonságosabb fóliakezelést tesz lehetővé a gépkezelők számára.



4.15. ábra: A cserélhető fólia széleire rögzített alumínium keret



4.16. ábra: A cserélhető fólia



4.17. ábra: A cserélhető fólia széleire rögzített alumínium keret profilja



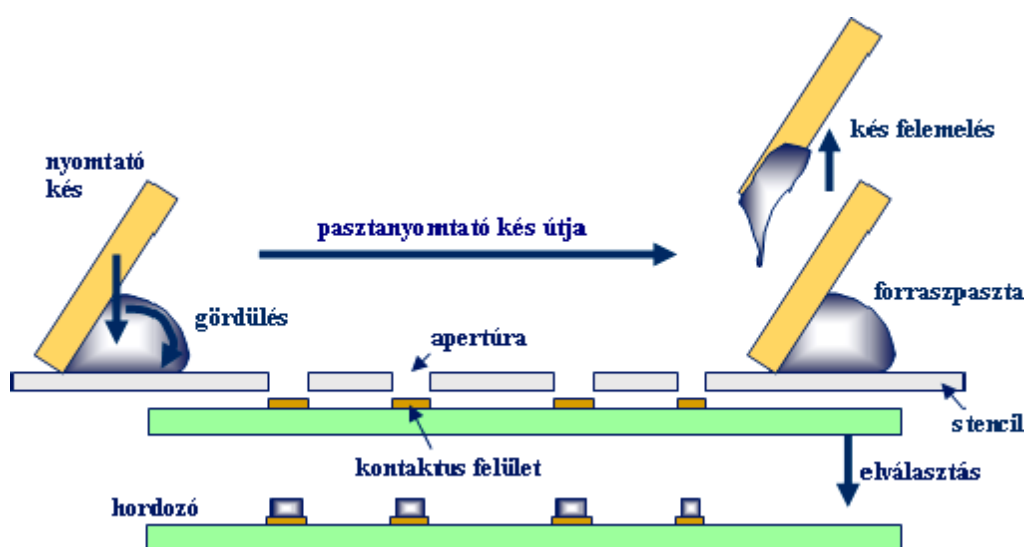
4.18. ábra: A második generációs keret



4.19. ábra: A cserélhető fólia rögzítése

### 4.1.3. A stencilnyomtatás folyamatparaméterei

Stencilnyomtatás során a szállítószalagról érkező szerelőlemezt a stencilnyomtató berendezés először rögzíti, hogy ne tudjon elmozdulni a folyamat során. Ezután a szerelőlemezen kialakított fiduciális (illesztést segítő) jeleket kamerás megfigyelőrendszerrel megvizsgálja és korrigálja a szerelőlemez elfordulását, valamint síkbeli eltolódását. Ezzel a pozicionálással biztosítjuk azt, hogy az apertúrák ténylegesen a kontaktusfelületek felett helyezkedjenek el. A szerelőlemez pozicionálása után a gép közvetlenül a stencil alsó felületéhez emeli a lemezt, majd a kés a stencil felső felületére, a kés elé előzőleg felvitt forraszpasztát végighúzza a stencilen.



4.20. ábra: A stencilnyomtatás folyamata

A kés a nyomtatás során maga előtt görgeti a forraszpasztát, ami belekerül a stencil apertúráiba, majd a kés tovább haladva eltávolítja a felesleges pasztamennyiséget a stencil felületéről, így az apertúrákon át a forraszpasztta közvetlenül a hordozó kontaktusfelületeire kerül. A kés poliuretánból, vagy napjainkban fémből készült egyenes szerszám, ami olyan széles, hogy az apertúrákon a nyomtatás irányában kis mértékben túllógjon. Ezenkívül léteznek még ún. zárt nyomtatófejek, melyekről részletesebben a 4.5 fejezetben írunk.

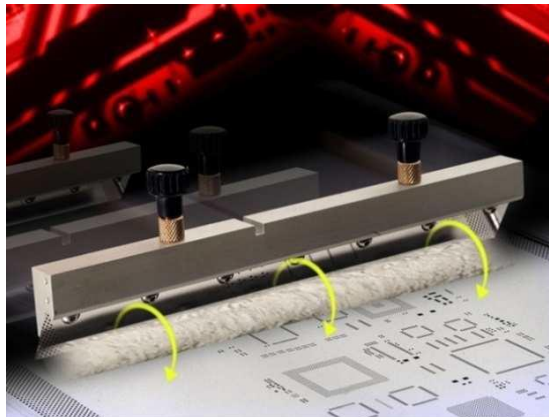
A nyomtatás a fémkések esetén akkor lesz megfelelő, ha a nyomtatókés és a stencil felülete által bezárt szög  $45^\circ$  és  $60^\circ$  között van. Ez az érték egy adott nyomtatógép esetén általában nem változtatható. A lemezen végighaladó pasztahenger átmérője optimális esetben 15-20 mm. Ezt az értéket a pasztagyártó cég a forraszpasztta adatlapján feltünteti. Ha a kés végighaladt az apertúrák felett, a szerelőlemezt a stencilnyomtató eltávolítja a stencil aljától, megszünteti a rögzítést, és a

szerelőlemez visszakerül a szállítoszalagra, ami továbbviszi azt a következő munkafázishoz. Ez a nyomtatási eljárás megismételhető, állandó minőséget biztosít az egy menetben történő pasztafelvitelre. A stencilnyomtatás legfontosabb folyamatparaméterei a következők:

- késsebesség,
- késerő,
- elválasztási sebesség,
- tisztítás sűrűsége,
- alátámasztási rendszer.

#### 4.1.3.1. Késsebesség

A késsebesség, ami elsősorban meghatározza a nyomtatási folyamat sebességét, ciklusidejét. A sebesség értéke széles határok között változtatható (30-200 mm/s), szokásos értéke 50-100 mm/s. Amennyiben a sebességet túl lassúra állítjuk, azzal feleslegesen növeljük a nyomtatáshoz szükséges időt. Abban az esetben viszont, hogyha túl gyorsra állítjuk, akkor a pasztahenger nem tud gördülni a stencilfólián, megcsúszik annak felületén, így nem tölti ki az apertúrákat. Ennek eredménye, hogy a szerelőlemez kontaktusfelületein nem lesz forraszpasztta, és a forrasztás után nyitott kötések alakulnak ki. A sebesség megfelelő beállítását jelzi, hogyha a nyomtatókés előtt kb. 15-20 mm átmérőjű forraszpasztta henger gördül.

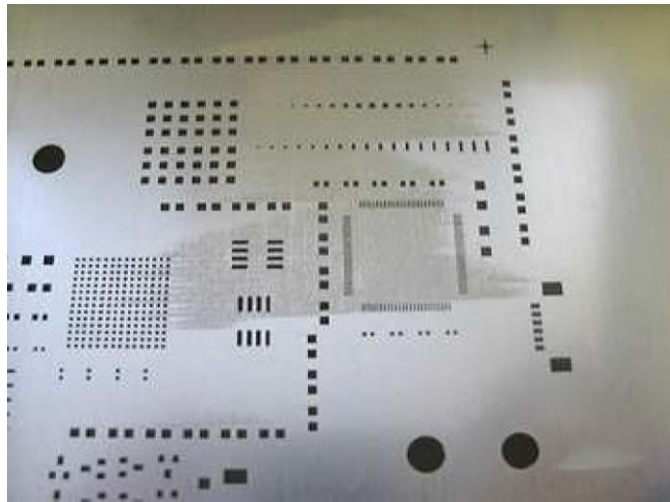


4.21. ábra: Forraszpasztta gördülése a kés előtt nyomtatás közben

#### 4.1.3.2. Késerő

A késerő az az erő, amivel a nyomtatás közben a kés egyrészt nyomja a stencilt (szorítja a szerelőlemezhez), másrészt ez az erő kényszeríti a pasztát az apertúrákba. A késerő állítható értéke 40-160 N tartományba esik. Abban az esetben, ha a késerőt túl nagyra állítjuk, akkor a kést és a

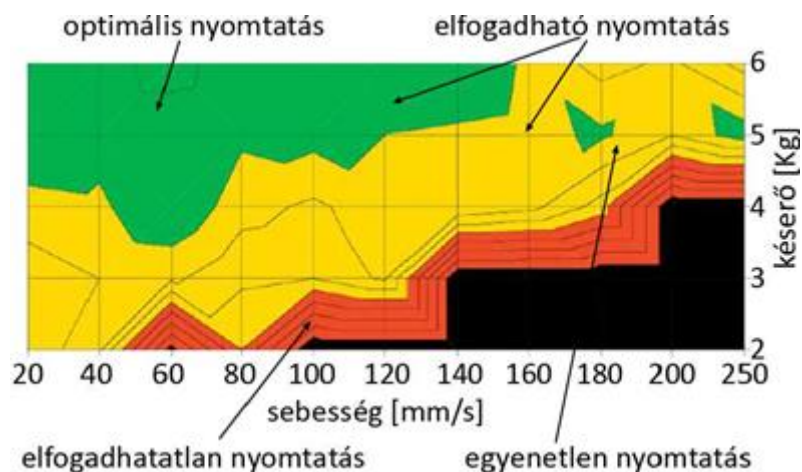
stencilt is feleslegesen koptatjuk. Ha pedig túl alacsonyra állítjuk, akkor kevés lesz az erő, amivel a forraszpasztát a stencil apertúráiba kényszerítjük. Az alacsony késerőnek a jele, ha a nyomtatás után a stencilfólián vékony rétegben forraszpasztta marad, a kés nem tisztítja le tökéletesen a stencilfólia tetejét.



4.22. ábra: Pasztanyomok a stencilfólia tetején nyomtatás után

A nyomtatási sebesség függvényében a nagyobb sebességhez nagyobb késerő tartozik, míg a kisebb sebességhez kisebb késerő párosul. Erre vonatkozóan a forraszpasztta gyártók ajánlásokat adnak a paszta adatlapjában (4.22.).

A stencilnyomtatás minőségét a forraszanyag állapota is jelentősen befolyásolhatja. Ezek tárolása hűtőben történik 5-10 °C-on, használat előtt azonban mindig engedni kell a pasztát szobahőmérsékletűre melegedni. A paszta melegedését kényszeríteni nem szabad, mert a forraszszemcsék túlzott oxidálódásához vezet. Ez a felmelegedési folyamat általában 6-8 órát vesz igénybe. Ezután már lehet használni forraszpasztát a nyomtatáshoz.



4.23. ábra: Forraszpasztta adatlapjában szereplő tipikus ajánlott nyomtatási sebesség és késerő



#### 4.1.3.3. *Elválasztási sebesség*

Az elválasztási sebesség az a sebesség, amivel a nyomtatás után a stencilt elválasztjuk a szerelőlemeztől. Szokásos értéke 2-8 mm/s. Abban az esetben, ha túl magasra állítjuk az elválasztás sebességét, akkor az elemeléskor a stencil magával rántja a forraszpasztát, az nem marad meg a kontaktusfelületen. Amennyiben túl alacsonyra állítjuk az elválasztási sebességet, akkor az elemeléskor a stencil magával húzza a pasztalenyomat szélét. Az elválasztási sebesség értékére is javaslatot tesznek a forraszpasztá gyártók a paszta adatlapjában, általában kb. 6 mm/s-ra szokás állítani.

#### 4.1.3.4. *Tisztítás sűrűsége*

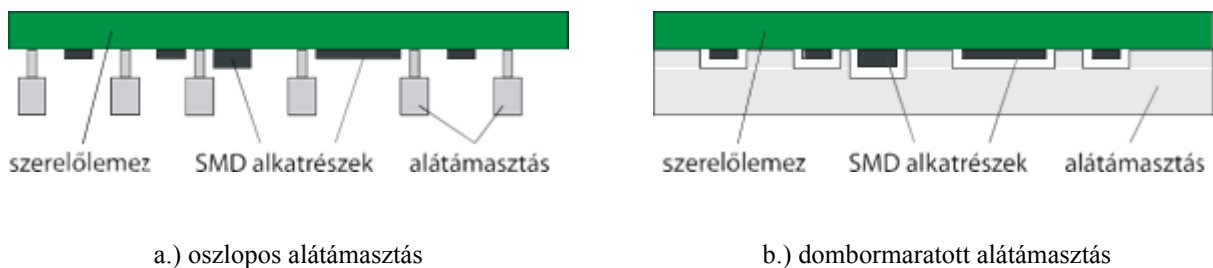
A stencilnyomtató berendezésekben beállítható a tisztítás gyakorisága, az, hogy hány nyomtatás után tisztítsa meg a nyomtató a stencilfólia alját. Erre azért van szükség, mert a nyomtatások alatt a stencil aljára forraszpasztá száradhat, amely elemeli a stencilfóliát a hordozótól, a kívántnál magasabb pasztalenyomatot eredményezve. Jellegét tekintve a tisztítás lehet száraz tisztítás, amikor száraz törlőkendővel tisztítja a berendezés a stencilfólia alját, és lehet nedves tisztítás, amikor a törlőkendő a paszta oldószerével át van itatva. A tisztítás hatékonyságának javítására a stencilnyomtató berendezésekben általában beállítható vákuumos rásegítés is. A tisztítás gyakoriságára szokásos érték, amikor 5-10 nyomtatásonként száraz- és 10-20 nyomtatásonként nedves tisztítást alkalmazunk.

#### 4.1.3.5. *Alátámasztási rendszer*

A stencilnyomtatás közben a szerelőlemezt alá kell támasztani, mert különben a késerő hatására a stencil és a szerelőlemez is meghajolna. Ez túl magas pasztalenyomatot eredményezne, ami a forrasztás után rövidzárat eredményezhet a finom osztástávolságú alkatrészek esetében. Az alátámasztás egyszerű síklappal nem megoldható, mert a kétoldalasan szerelt moduláramköröknél, amikor a második oldalra visszük fel a forraszpasztát, az alsó oldalon már jelen vannak a különböző magasságú, beforrasztott alkatrészek. Ezért alkalmazzák az alátámasztási rendszereket.

Az alátámasztási rendszer alapvetően két típusra osztható, oszlopos- és dombormaratott alátámasztásra (4.24. ábra). Az oszlopos rendszerrel a szerelőlemezt oszlopokkal támasztjuk alá, melyeknek állítható a pozíciója. Más oszlopos rendszereknél az oszlopok mátrix rácspontjaiban vannak elhelyezve, és beállítható, hogy melyik támassza a szerelőlemezt, illetve melyik ne.

Amennyiben a stencilnyomtatás közben a fólián csak nyomokban marad paszta, az az alátámasztás nem megfelelő beállítására utal. Az oszlopos alátámasztási rendszer rugalmasan használható bármilyen moduláramkörhöz, használata kis és közepes sorozatgyártásnál szokásos. A dombormaratott alátámasztási rendszer esetében a szerelt áramkör alsó oldalán lévő beforrasztott alkatrészek magasságának megfelelően fészkeket alakítanak ki. Anyaga általában műanyag. A dombormaratott alátámasztási rendszer sokkal egyenletesebb alátámasztást valósít meg, mint az oszlopos rendszer, hátránya viszont, hogy minden egyes terméktípushoz dedikált alátámasztást kell készíteni, ami növeli a termék árát. Ezért a dombormaratott alátámasztás használata csak nagy sorozatszámú gyártás esetén éri meg.



a.) oszlopos alátámasztás

b.) dombormaratott alátámasztás

4.24. ábra: A szerelőlemez alátámasztása

Az oszlopos alátámasztási rendszer egy változata, amikor az alátámasztások egy mátrix rácspontjain helyezkednek el, viszont nem csak az alkatrész közökhöz emelik fel az alátámasztó oszlopokat (4.25. ábra). Ennél a rendszernél az alkatrészek is alá vannak támasztva, az oszlopok pont olyan magasságig emelkednek fel, hogy az alkatrészt is alátámasztja, de a szerelőlemez síkjában marad. Terméktípus váltásánál az alátámasztási rendszer beállítása során a rendszer az oszlopokat el kezdi emelni sűrített levegő segítségével. Amikor érzékeli, hogy az oszlop vagy alkatrész tetejéhez, vagy a szerelőlemez alsó síkjához ért, akkor az oszlopot rögzíti abban a magasságban. Ennek az alátámasztási rendszernek a neve a DEK cégnél a Grid-Lok. Az oszlopok magassága 23 mm, ez a maximális alkatrész magasság, amit át tud hidalni.



a.) az alátámasztási rendszer



b.) stencilnyomtatóba beépítve

4.25. ábra: A Grid-Lok alátámasztása

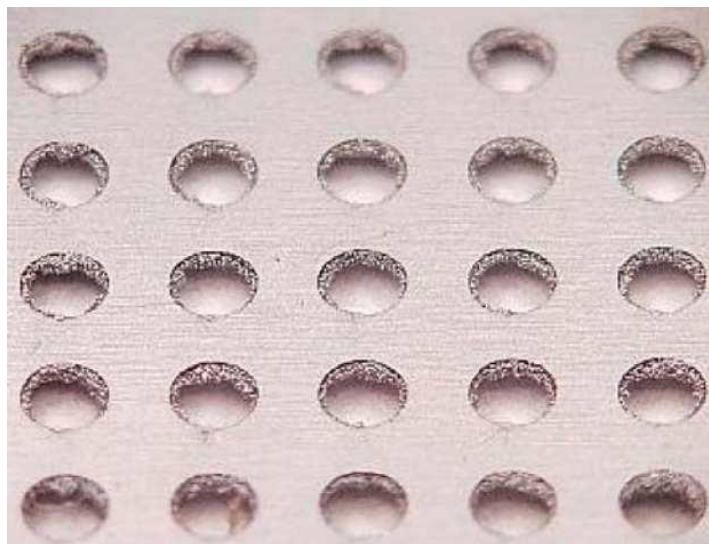
#### 4.1.4. A stencilnyomtatás hibái

Hibás forraszpaszta felvitelét az esetek túlnyomó részében a stencilnyomtatás hibája okozza, de a tökéletesen a szerelőlemez kontaktusfelületére nyomtatott forraszpaszta is deformálódhat utólag. A jó minőségű stencilnyomtatás után a forraszpaszta-tömb sima oldalélekkel rendelkezik, egyenletesen vastag és a stencilfóliával megegyező magasságú, a forraszszemcsék szorosan egymás mellett helyezkednek el.

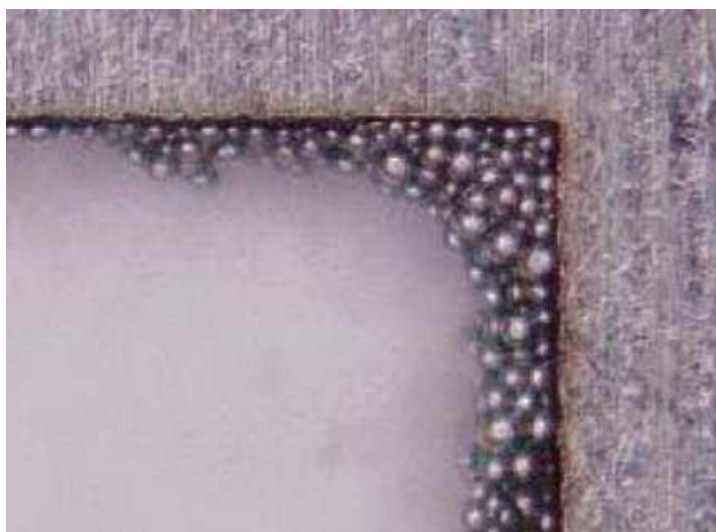
##### 4.1.4.1. A forraszpaszta beleragadása a stencilapertúrába

A forraszpaszta a szerelőlemez és a stencil elválásakor ragadhat bele az apertúrákba. A stencil és a forraszpaszta közötti adhéziós erők következtében a nyomtatási ciklusok során egyre több forraszszemcsé halmozódhat fel az apertúrák oldalsó falfelületén. (4.26. ábra)

A forraszpaszta a szögletes apertúrák sarkaiban nagyobb mennyiségben halmozódik fel, mivel ott egyszerre két oldal adhéziós ereje vonzza a forraszszemcséket az apertúra falához (4.27. ábra). A forraszpaszta beleragadásának több oka lehet. A legkézenfekvőbb az apertúra falfelületének érdessége. A stencilék e tulajdonsága a készítési technológia függvényében változik. A stenciléket ezért kell a nyomtatások között adott időközönként (10-20 nyomtatás) tisztítani, hogy az apertúra falaira ragadó paszta ne tömítse el a stencilapertúrákat.



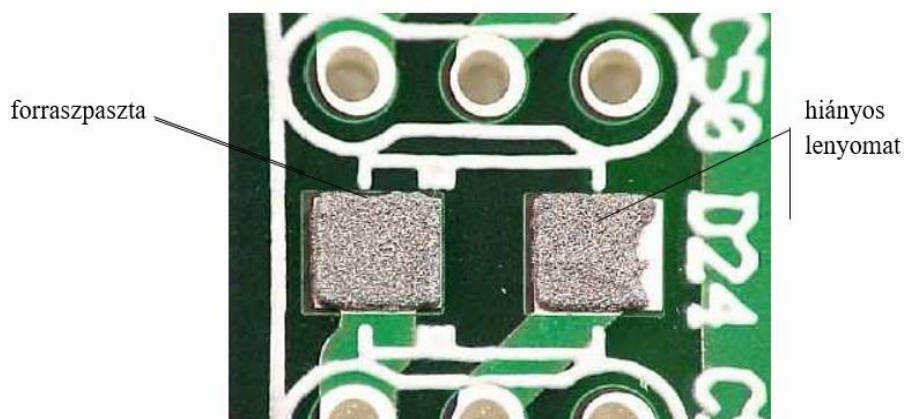
4.26. ábra: Az apertúrákba ragadt forraszpaszta



4.27. ábra: Apertúra sarkába ragadt forraszpaszta

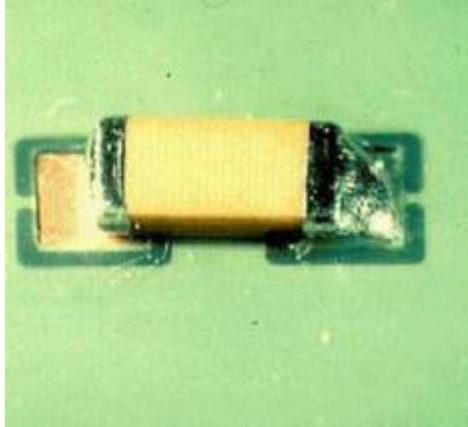
#### 4.1.4.2. *Hiányos pasztalenyomat*

A hiányos forraszpaszta nyomtatás következtében túl kevés forraszanyagot tartalmazó gyenge kötések, nyitott kötések, valamint sírkő effektus is kialakulhat. Nyitott kötésről akkor beszélünk, ha az alkatrész kivezetője és a kivezetőhöz tartozó forrasztási felület között nincs galvanikus kapcsolat, az áramkörben szakadás alakul ki. A hiba az áramkör forrasztása után az ellenőrző villamos méréskor észlelhető. Kevés forraszanyagot tartalmazó kötés esetén van galvanikus kapcsolat a kivezető és a forrasztási felület között, viszont a kötés mechanikai igénybevételeknek kevésbé áll ellen, kisebb a megbízhatósága. Sírkő effektus esetén az alkatrész egyik vége elemelkedik a kontaktusfelületről, az áramkörben szakadás alakul ki.

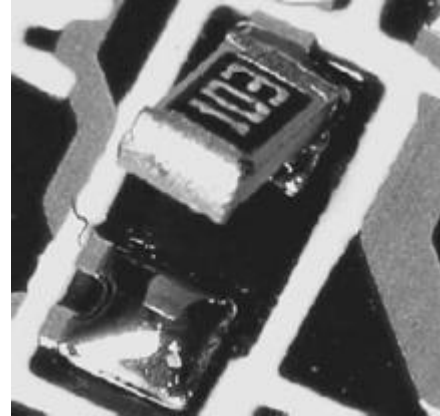


4.28. ábra: Hiányos nyomtatás

A hiányos pasztalenyomatot a szerelőlemez szennyeződése, a stencilapertúrák eltömődése, a nyomtatótér hőmérsékletének nem megfelelő beállítása következtében kiszáradt vagy megnövekedett viszkozitású forraszpasztta is okozhatja.



a.) nyitott kötés

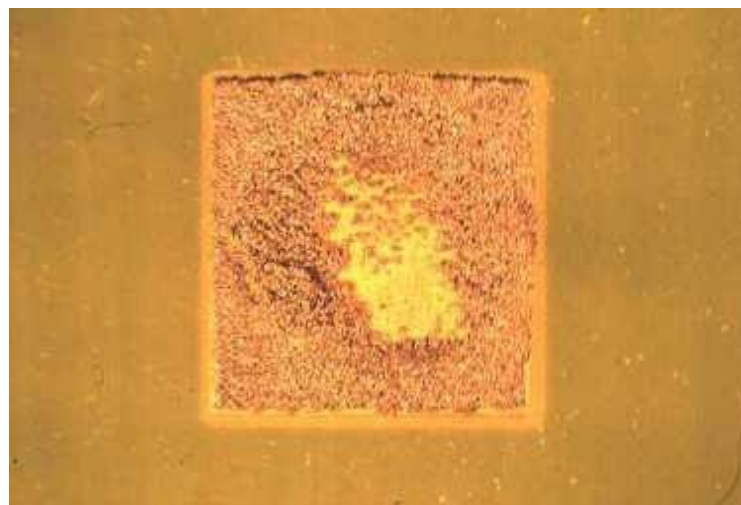


b.) sírkő effektus

4.29. ábra: Hiányos pasztalenyomattól eredő hibák

#### 4.1.4.3. Kráteres pasztalenyomat („Paste scooping”)

Kráteres forraszpasztta lenyomatról akkor beszélünk, ha a nyomtatott forraszpasztta-tömb tetején kráterszerű bemélyedés található (4.30. ábra). Egyes esetekben ez a kráter olyan mély is lehet, hogy az alja a forrasztási felületig is leérhet. A kráter miatt a forrasztási felületen a tervezettnél kevesebb forraszpasztta található, ami nyitott kötés kialakulásához vezethet. A kráter kialakulása főként a nagyobb területű apertúrákra jellemző, és oka a túl nagy késnyomás vagy a kés sérülése lehet. Megszüntethető a nyomtatási erő csökkentésével, a kés épségének ellenőrzésével, vagy a stencil és a szerelőlemez illeszkedésének ellenőrzésével.

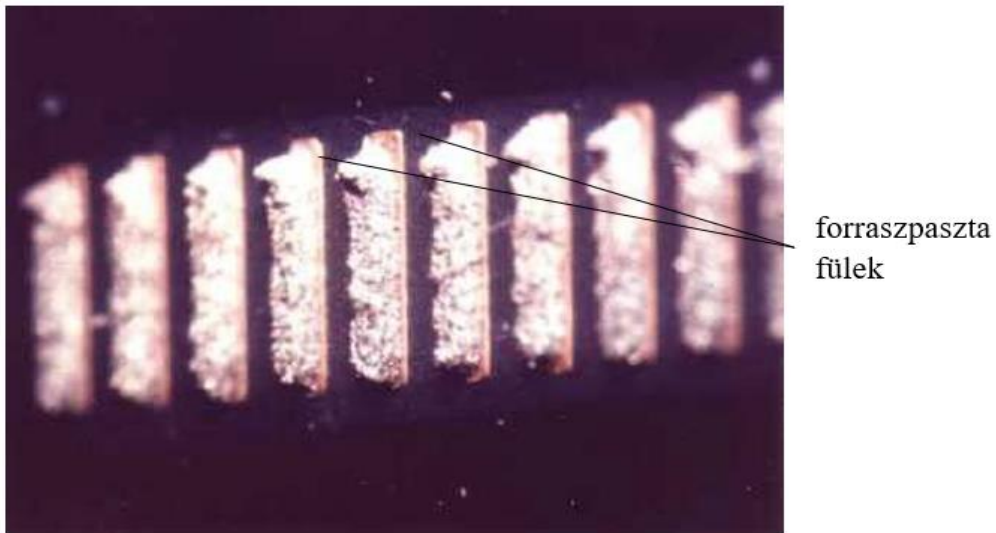


4.30. ábra: Kráteres forraszpasztta lenyomat



#### 4.1.4.4. Forraszpaszta fülek kialakulása („Dog-ear”)

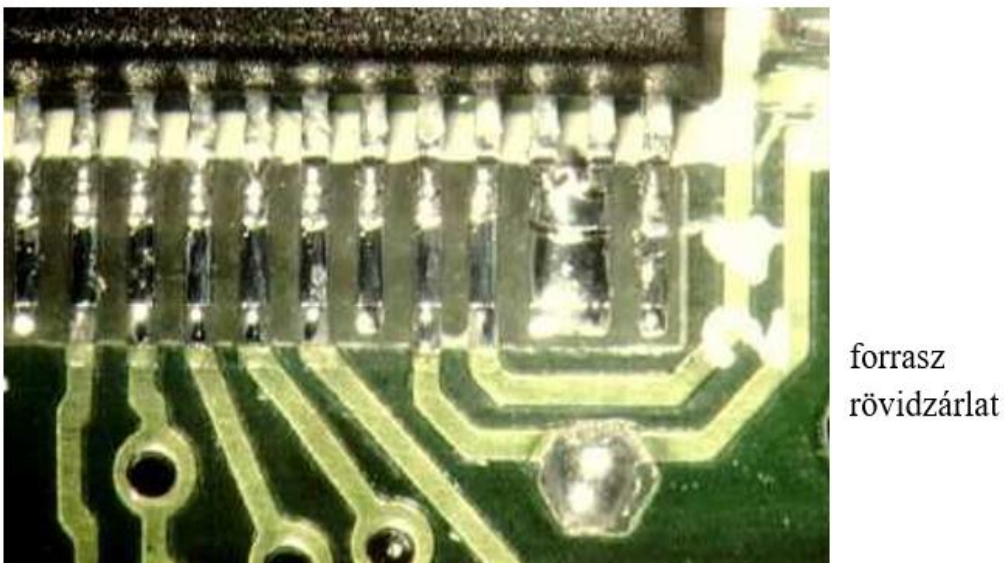
Forraszpaszta füleknek (vagy kutyafül effektusnak) a forraszpaszta-tömb egyik végének megvastagodását nevezzük (4.31. ábra). Kialakulásának oka a túl nagy szeparációs sebesség, az apertúra falainak érdessége, a túl kis nyomtatási sebesség vagy a helytelen alátámasztás lehet.



forraszpaszta  
fülek

4.31. ábra: Forraszpaszta fülek

A füleknél a megvastagodás miatt túl sok a forraszpaszta, ez rövidzárlat kialakulásához vezethet (4.32.). Megszüntetéséhez csökkenteni kell a szeparációs sebességet vagy növelni a nyomtatási sebességet, aminek hatására csökken a forraszpaszta viszkozitása.



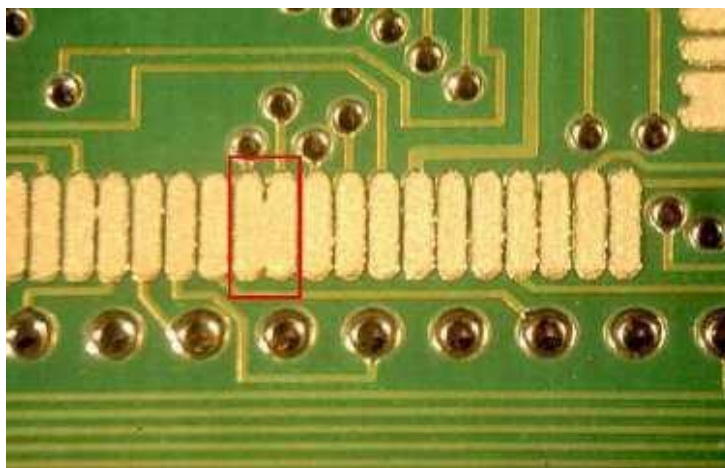
forrasz  
rövidzárlat

4.32. ábra: Forrasz rövidzárlat



#### 4.1.4.5. Forraszpaszta megrogyás („Slump”)

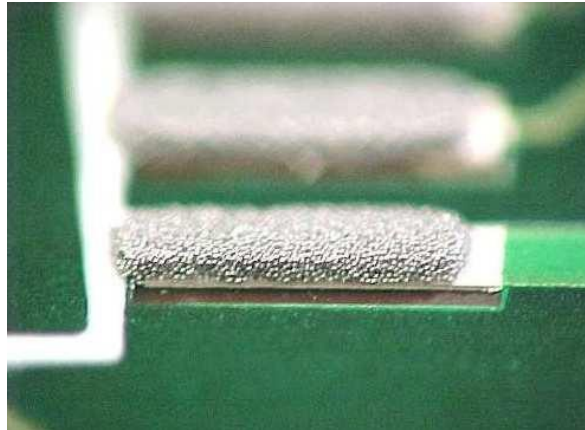
A forraszpaszta megrogyásakor a forraszpaszta-tömb oldalainál lévő forraszszemcsék elcsúsznak egymáson, leborulnak egymásról. A forraszpaszta megrogyásának oka a nagy nyomtatási erő, a magas hőmérséklet vagy páratartalom, a forraszpaszta szavatosságának lejárása vagy a nem megfelelő stencil-szerelőlemez illeszkedés lehet. a finom raszterosztású alkatrészeknél a megrogyó forraszpaszta már a forrasztás előtt összeérhet egy szomszédos forrasztási felületen lévő forraszpaszta-tömbbel (4.33. ábra), ezzel jelentősen megnövelve az esélyét a forrasztás utáni rövidzárlat kialakulásának. A megrogyás kiküszöbölésének egyik hatásos módszere, ha a stencilnyomtató gépen csökkentjük a kés nyomóerejének értékét, így a forraszpaszta az apertúrában nem nyomódik annyira össze a nyomtatáskor és nem terül szét a stencil elemelkedésekor.



4.33. ábra: Megrogyás után összeérő forraszpaszta

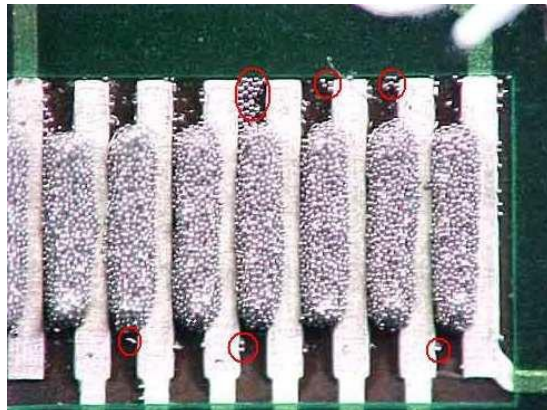
#### 4.1.4.6. Elcsúszott forraszpaszta lenyomat

A szerelőlemezre nyomtatott forraszpaszta elcsúszásáról akkor beszélünk, ha a szerelőlemezre nyomtatott forraszpaszta-tömbnek van olyan területrésze, ami nem a forrasztási felületen helyezkedik el. Általános szabály, hogy ha a szerelőlemezre felvitt forraszpaszta több mint 80%-a a kontaktusfelületen van, a stencilnyomtatás megfelelő minőségű. A 4.34. ábra oldalirányban elcsúszott forraszpaszta lenyomatot szemléltet. Megfigyelhető, hogy a forraszpaszta-tömbök kontúrjai egyenesek és élesek, a felületük sima, szabályos hasáb alakjuk van. Mivel itt több mint 80%-a a forraszpaszta mennyiségének a forrasztási felületen található, a szerelőlemezt továbbsszerelni megengedett.



4.34. ábra: Elcsúszott forraszpaszta nyomatok

A 4.35. ábrán az oldalirányú elcsúszás már akkora, hogy a forraszpaszta kevesebb, mint 50%-a található a forrasztási felületeken. Az ilyen mértékű elcsúszás nem elfogadható, a szerelőlemezt továbbszerelni nem szabad, mert a forraszpaszta ekkora mértékű elcsúszása akár forraszrövidzár kialakulásához is vezethet.



4.35. ábra: Elfogadhatatlan mértékű pasztaelcsúszás

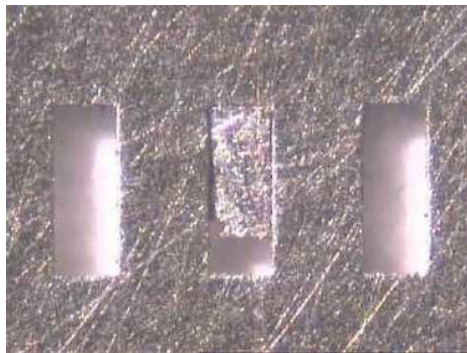
#### 4.1.4.7. *Egyéb hibák*

A stencilen található sérülések közül gyakori a horpadás (4.36. ábra). A horpadás helyén, a stencil, a nyomtatás során elemelkedik a szerelőlemeztől, a túl sok forraszpaszta következtében rövidzárlat alakulhat ki. A hiba szabad szemmel észlelhető.

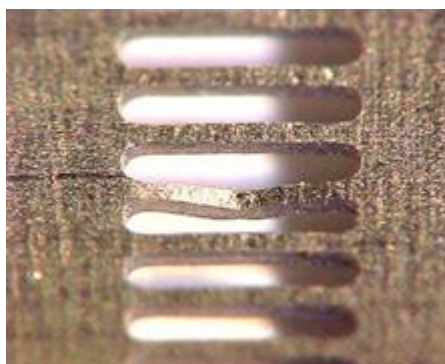


4.36. ábra: Horpadás a stencilen

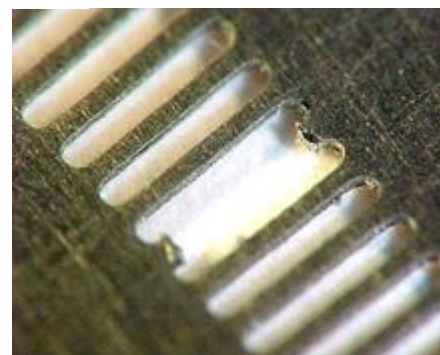
Lézervágás útján kialakított stencil apertúrák esetén előfordulhat, hogy egyes apertúrákból a vágás után nem esik ki a kivágott fém darabka, hanem az egyik oldalon egy pár mikrométernyi fém híd még tartja (4.37.ábra). Ennek oka a stencilfólia egyenetlensége. A nyomtatás során az ilyen apertúrán át nem jut forraszpasztta a szerelőlemezre. A hiba próbanyomtatás során, vagy világító asztalon észlelhető, a fém darabka utólag könnyen eltávolítható.



4.37. ábra: Apertúra elzáródás



a.) deformálódott szál



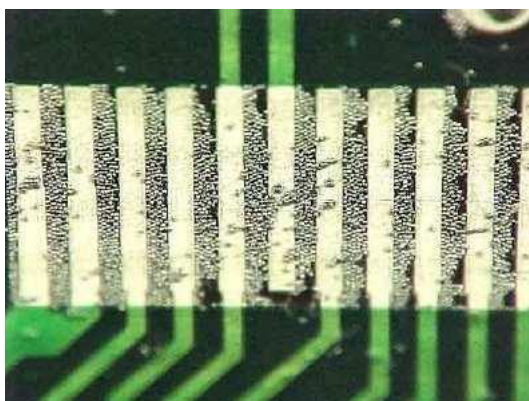
b.) kitört szál

4.38. ábra: Apertúrák elválasztó-szálának sérülése

Ezenkívül a stencil a gyártás közben is sérülhet. Rendszeres sérülés, amikor a finom osztástávolságú alkatrészhez kialakított apertúrák elválasztó szálai sérülnek, eltörnek. Ezek a

szálak akár ki is eshetnek, így két apertúra egybenyílik a stencilen (4.38. ábra).

Stencilnyomtatás során számtalanszor előfordulhat, hogy a szerelőlemezre felvitt forraszpasztát a stencilnyomtatás hibája miatt el kell távolítani. A szerelőlemez tisztítása után visszamaradó forraszpaszta maradványok az újraömlés után forraszgyöngy és forraszhíd kialakulását okozhatják. A 4.39. ábrán rossz tisztítási eljárás után visszamaradó forraszpaszta maradványok szemlélhetők meg. Ilyen hiba általában egy egyszerű letörlés után keletkezik. A hiba szabad szemmel vagy nagyító alatt könnyen észlelhető, a forraszpasztát oldószeres tisztítással lehet maradványmentesen eltávolítani. Az oldószeres tisztítás után is maradhatnak forraszszemcsék a szerelőlemezen, ezért az egyes konkrét alkalmazásokban a gyártó sokszor úgy dönt, hogy a hibásan stencilnyomtatott szerelőlemezeket nem használja fel. A szerelőlemezek és a stencilék tisztítási folyamatát az IPC-7526 szabvány írja elő.



4.39. ábra: Forraszpaszta maradványok tisztítás után

## 4.2. ALKATRÉSZ-BEÜLTETÉS

A pasztafelvitel után a következő lépés az elektronikai alkatrészek beültetése a forraszpasztába. Ezt a műveletet a tömeggyártásban automata alkatrész-beültető berendezések végzik. Az alkatrész-beültető automaták vákuum pipettával (nozzle) fogják meg az alkatrészt (4.40. ábra), ezután vagy a beültetőfejet, vagy a szerelőlemezt mozgatva pozícionálják az alkatrészt, majd beültetik azt a már előzetesen felvitt forraszpasztába.



4.40. ábra: Alkatrész-beültetéshez alkalmazott pipetták

Az alkatrész-beültető gépeket három szempont alapján csoportosíthatjuk:

- automatizáltság foka szerint:
  - manuális,
  - félautomata,
  - automata,
- mozgatás mechanizmusa szerint:
  - mozgótálcás,
  - hordozóállványos,
- beültetőfej típusa szerint:
  - pick&place (felvesz és beültet) – az alkatrészeket egyesével veszi fel a tárból, és egyesével ülteti be azokat,
  - collect&place (összegyűjt és beültet) – több alkatrészt (8-32) vesz fel egyszerre a tárból és utána azokat egyesével ülteti be.

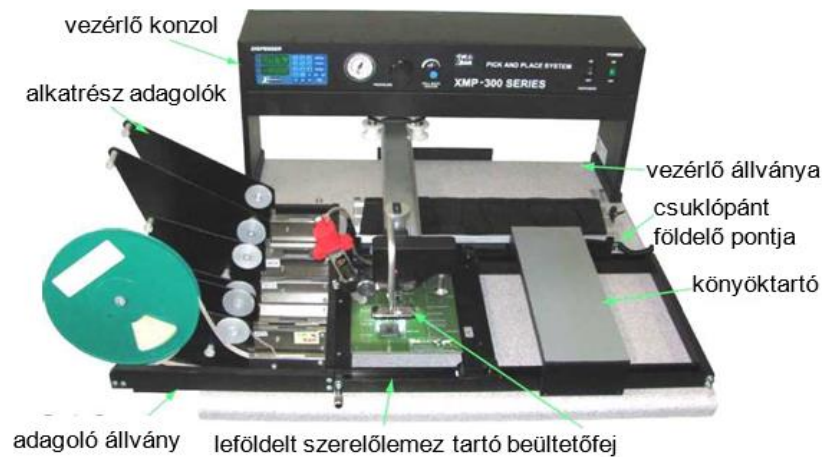
#### 4.2.1. A beültetőgépek csoportosítása

##### 4.2.1.1. Automatizáltság foka

Az automatizáltság foka szerint a legegyszerűbb-leglassabb berendezések a kézi alkatrész-beültető automaták. Ezek mindig pick&place rendszerű vákuumpipettával rendelkeznek, és kezelőszemély kézzel végzi az alkatrészek pozícionálását. Ebből kifolyólag pontosságuk a kezelőszemélytől függ, sebességük pedig hozzávetőleg 100 alkatrész/óra. A berendezés része az alkatrészadagolók, a munkaasztal, amire a szerelőlemezt helyezzük a beültetés közben és a



beültetőfej a pipettával (4.41. ábra). Léteznek olyan berendezések, amelyek lézerrel képesek megjelölni az éppen beültetés alatt álló alkatrész pozícióját a szerelőlemezen. Ezeket a beültetőgépeket lassú sebességük miatt többnyire laborokban alkalmazzák. Másik felhasználási területük a javítás-újraforrasztás (rework), amikor a készre szerelt moduláramkörön esetleges forrasztási- vagy egyéb hibák miatt alkatrészeket szelektíven kell kicserélni.



4.41. ábra: Manuális alkatrész-beültető berendezés

A félautomata alkatrész-beültetők az alkatrészeket automatikusan ültetik be, csak a szerelőlemez továbbítását végzi a kezelőszemély a stencilnyomtatóból a beültetőgépbe, illetve a beültetőgépből az újraömlesztő kemencébe. A félautomata beültetőgépek skálája méret és sebesség szempontjából, meglehetősen széles. Ezek a belépőszintű gépek többnyire pick&place beültetőfejjel vannak szerelve (4.42. ábra), nem túl drágák, viszont a pontosságuk és sebességük jóval meghaladja a kézi beültetés pontosságát és sebességét. A félautomata beültetőgépek sebessége általában óránként 3.000 - 6.000 alkatrész beültetéséig terjed. Ezekben a berendezésekben többnyire már megvalósul az alkatrészek pozíciómérése is a pontosabb beültetés érdekében. Ez azt jelenti, hogy miközben a beültetőfej fogja az éppen beültetés alatt álló alkatrészt, annak pozícióját megméri a pipettán. Az alkatrész szögelfordulási hibáját a pipetta forgatásával küszöböli ki, a pozícióhibát (mennyire nem a közepén fogja az alkatrész) pedig megjegyzi, és az alapján korrigálja a beültetési koordinátákat. A félautomata berendezéseket szintén laborokban, vagy alacsony sorozatszámú gyártásnál alkalmazzák.





4.42. ábra: Félautomata alkatrész-beültető berendezés

Az automata beültetőgépek közül az első szint csak kissé drágább, mint a félautomata beültetőgépek. A középszintű automata gépek pontossága nagyjából megegyezik a belépőszintű félautomata gépek pontosságával. Ezek a beültető gépek már sokkal gyorsabbak, több alkatrészt tudnak felvenni, és egymás után elhelyezni a szerelő lemezre, ezáltal csökkenteni lehet a beültető fej által megtett utat az alkatrésztároló és az elhelyezési pozíció között. Általában azért több alkatrésztárolót lehet csatlakoztatni hozzájuk, és a sebességük és valamivel nagyobb, hozzávetőleg 8.000 - 14.000 alkatrészt ültetnek be óránként.

A felsőkategóriás automata beültetőgépeket már két csoportra osztják: nagysebességű, illetve rugalmas gépekre. Az elektronikus áramkörökön az alkatrészek nagy része chip ellenállás és chip kondenzátor. Ezeknél általában kisebb a pontossági igény, viszont a nagy számuk miatt rendkívül gyorsan kell beültetni őket. Ezért ezeket az alkatrészeket a nagysebességű, kevésbé rugalmas gépekkel ültetik. A nagysebességű gépeknél tipikus az óránkénti 40.000 alkatrész beültetése, de sebességük elérheti akár a 100.000 óránként beültetett alkatrészt is. A nagyméretű tokozott integrált áramköröknél (QFP, BGA, QFN) azonban nagyobb a pontossági igény, és a tokok mérete és alakja is igen változatos, ezért ezeket az alkatrészeket a kevésbé gyors, de rugalmas gépekkel ültetik be. A rugalmas gépeknél az átlagos beültetési sebesség 20 - 30.000 alkatrész óránként.



4.43. ábra: Automata alkatrész-beültető berendezés

#### 4.2.1.2. *Mozgatás mechanizmusa*

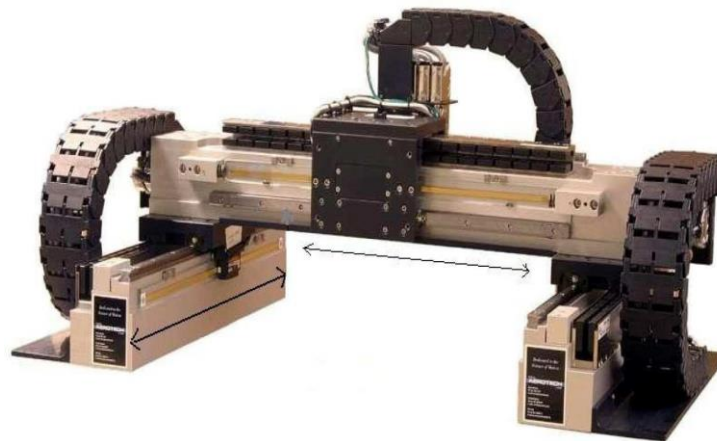
A mozgótálcás (walking beam style) beültetőgépek rendkívül nagy szériaszámú sorozatgyártásra alkalmasak. A szerelőlemezt mozgó tálcára rögzítik, és ezután azt mozgatják a beültetőfejek alá a megfelelő pozícióba.



4.44. ábra: Mozgótálcás beültető gép rendszervázlata

Az alkatrésztárazásnál is az alkatrésztárazakat mozgatják a beültetőfej alá. A tárazás és a beültetés közben a beültetőfej pozíciója fix, és körmozgást végez. A termékváltásnál a tálcákat hozzá kell illeszteni a szerelőlemezhez, az alkatrész-adagolókat újra kell állítani, és a beültetőfejet újra kell szerszámozni. Ezért a termékváltás meglehetősen nehézkes. Emiatt alkalmazzák ezt a módszert csak nagyon nagy sorozatú szériák esetén.

A hordozóállványos beültetőknél a beültetőfej állványon mozog, elérve az összes alkatrész-adagolót, és a szerelőlemez teljes felületét. Az alkatrész-adagolók és a szerelőlemez pozíciója rögzített a beültetés közben. A beültetőfej először felveszi az alkatrészt, ellenőrzi pozícióját a pipettán, majd beülteti a szerelőlemezre felvitt forraszpasztába. A beültetési sebesség növelésének érdekében a hordozóállványos beültetőfejek kialakítása többnyire több felvevő pipetta alkalmazását teszi lehetővé, illetve egyszerre akár több beültetőfej is dolgozhat együtt. Amíg az egyik táraz, addig a másik beültet, és fordítva. A hátránya ennek a kialakításnak az, hogy a fejnek nagy utat kell megtenni, nagy az utazással töltött idő. A többszörös rudazati kialakítás hátránya, hogy míg az egyik fej dolgozik, addig a másik rúdon lévő várakozik, illetve az ütközés elkerülése érdekében nagyobb távolságot tart. A nagyobb termelékenységet úgy lehet megoldani, hogy a gyártósorra több ilyen típusú gépet tesznek.



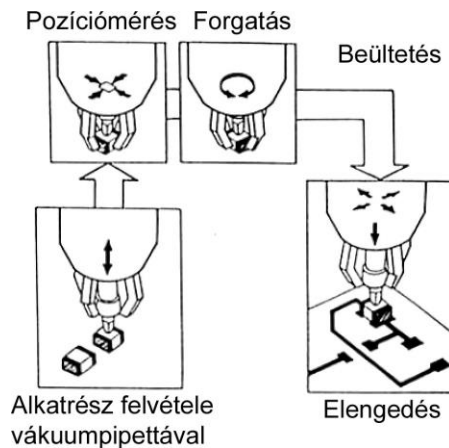
4.45. ábra: A hordozóállványos beültetőgép állványa

#### 4.2.1.3. Beültetőfej típusa

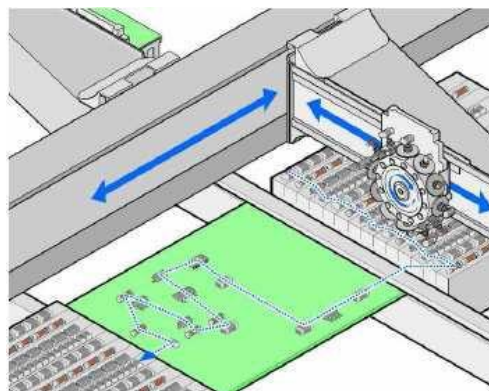
A „megfog és beültet” (pick&place) rendszerű beültetőfejek (4.46. ábra) az alkatrészeket egyesével veszik fel a tárazból és egyesével ültetik be azokat a szerelőlemezre. A sebessége ezeknek a fejeknek elérheti akár a 20.000 beültetett alkatrészt óránként. A pontossága ezen fejeknek rendkívül jó (10-20  $\mu\text{m}$ ), így a finom raszterosztású integrált áramköröket többnyire ezekkel a fejekkel ültetik be.

Az „összegyűjt és beültet” elvnek az angol megfelelője a „collect-and-place”. Ekkor a beültetőgép egy munkafolyamat során az alkatrésztárolókból egymás után több alkatrészt vesz fel (összegyűjti azokat), és ezeket a megfelelő koordinátákra való mozgás után a megfelelő pozícióba forgatva

beülteti. A „collect-and-place” elvű beültetőgépek gyorsabbak, mint a „pick- and-place” elvűek. A megoldás gyorsasága abban rejlik, hogy egyszerre több alkatrészt vesz fel, s ezután egymás után rakja őket megfelelő pozícióba, s nem telik az idő az alkatrésztároló és beültetési pozíció közötti ide-oda mozgással. Sebességük eléri akár a 80 000 beültetett alkatrészt óránként, viszont kevésbé pontosak (30-40 µm). Ennek a módszernek az előnyeit kisméretű, kisebb pontosságigényű alkatrészek beültetésénél használják ki.



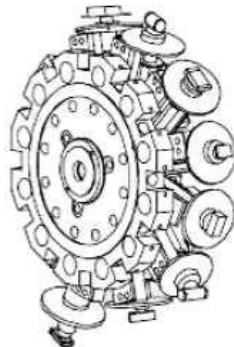
4.46. ábra: A pick&place rendszerű beültetés folyamata



4.47. ábra: A collect&place rendszerű beültetés folyamata

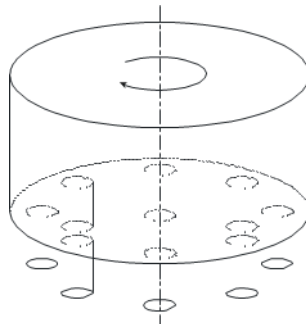
Radiális típusú beültetőfej (4.48. ábra) a legnépszerűbb a beültetőgépek esetén. Ebben az esetben a beültetőfej forgó revolverfej, mely esetében a pipetták a beültetőfejen sugárirányban helyezkednek el. A fej forgási tengelye párhuzamos a szerelőlemez síkjával. A revolverfej számos beültető egységre bontható. Minden egység képes különböző méretű alkatrészekhez különböző vákuumpipettát felvenni, amivel a teljes beültetési folyamat alatt szorosan tartja a különböző méretű alkatrészeket. A rögzült alkatrész a revolverfejen körbefordul a beültetési folyamat során.

A felvételi pozícióból az elhelyezési pozícióba való mozgás közben a felvett alkatrészek alakját, méretét és helyzetét ellenőrzi a beültetőgép a vizuális rendszere segítségével. A mért adatok alapján a beültetés előtt beállítja az alkatrész pontos szögelfordulását, s kiszámolja a beültetés koordinátáit.



4.48. ábra: A radiális collect&place beültetőfej

Az axiális típusú collect&place beültetőfej (4.49. ábra) annyiban tér el a radiális kialakításútól, hogy a beültetőfejen a forgási tengellyel párhuzamos tengelyen helyezkednek el a pipetták, forgási tengelye merőleges a szerelőlemez síkjára.



4.49. ábra: Az axiális collect&place beültetőfej

A harmadik típus a collect&place-nek nevezhető beültetőfejek esetében, amikor a beültetőfejek egymás mellett, egy vagy több sorban helyezkednek el (4.50. ábra). Az egymás mellett egy sorban elhelyezkedő beültetőfejek esetében az alkatrésztárok pontosan olyan távolságra vannak egymástól, mint a beültetőfejek pipettái, így a különböző fejek különböző alkatrészeket vesznek fel az egymás mellett elhelyezkedő tárból. A beültetés már a szokásos módon történik, a beültetőfej mindig pozicionálja a pipettát az éppen aktuális alkatrész beültetési koordinátája fölé.



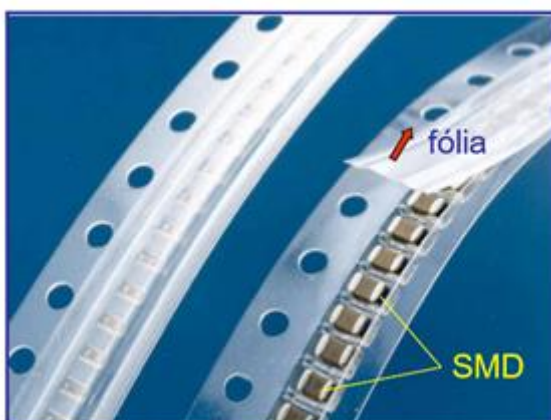


4.50. ábra: Egymás mellett elhelyezkedő beültetőfejek

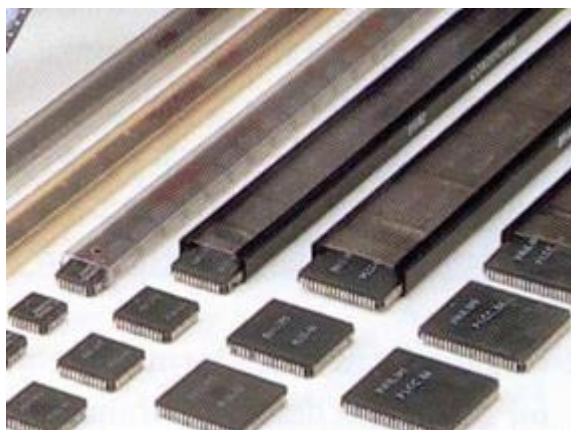
#### 4.2.2. A beültetőgépek felépítése

A beültetőgépek többféle kialakításban lehetnek jelen a gyárakban, de a fő részeik egységesek. Minden beültetőgép alapegysége az alkatrész felvevő fej, amely segítségével felveszi és a megfelelő lerakási koordinátákra mozgatja az alkatrészt. Az alkatrész rögzítése a mozgás során két módon történhet. Először a beültetőfejen elhelyezkedő karmok (befogó pofák) segítségével történő rögzítés jöhet szóba, másodsor pedig vákuumpipettás rögzítés, mikor a vákuum szívóhatása következtében rögzül az alkatrész a fejhez.

A következő fontos egység az alkatrésztárolók. Ezeket „feeder”-eknek nevezik. Az alkatrészek lehetnek szalag-, rúdtárban (4.51. ábra), lehetnek tálcátárban (4.52. ábra), s ömlesztett kiserelésben is. Ma a kisméretű alkatrészek egyik leggyakrabban alkalmazott kiserelése a szalagtár. A nagy alkatrészeket (főleg sokkivezetős integrált áramköröket) általában tálcátárban tárolják.



a.) szalagtár



b.) rúdtár

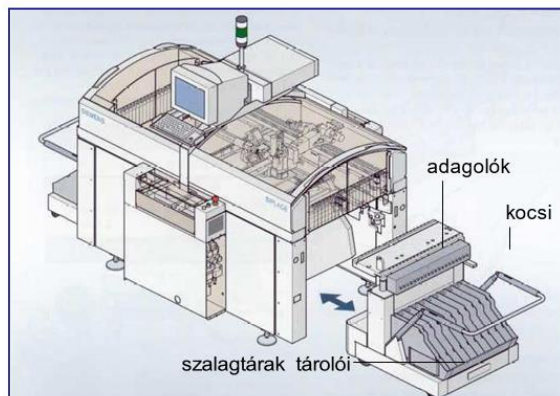
4.51. ábra: Alkatrésztárolók





4.52. ábra: Tálcátár

A szalagtárat úgynevezett feeder-kocsira (4.53. ábra) fűzik fel, és ezt a kocsit csatlakoztatják a beültetőgéphez. Ezáltal meggyorsítható a termékváltás, mert amíg az egyik típusú terméket szerelik a beültetőgépek, addig a másik termékhez tartozó szalagtárat fel lehet fűzni a feeder-kocsira, és utána a termékváltásnál a feeder-kocsi cseréjével egy lépésben megoldható az összes szalagtár cseréje.



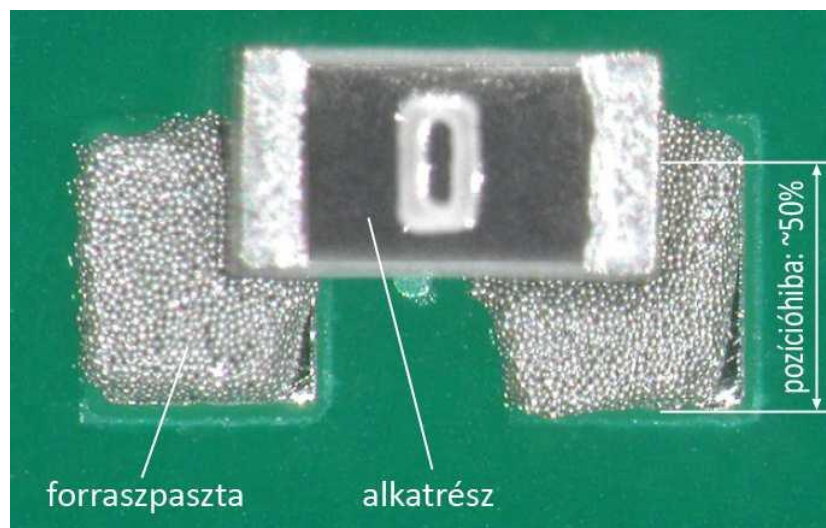
4.53. ábra: A beültetőgép és a feeder-kocsi

Minden gép tartalmaz a fentiekén kívül olyan egységet, ami a felvett alkatrész központozását (középpontjának meghatározását) végzi. Erre azért van szükség, mert a tárukban elhelyezett alkatrészek felvétel után nem mindig azonos pozícióban helyezkednek el a pipettán. Ezen hiba kiküszöbölésére (azaz a központozásra) több eljárást dolgoztak ki. Régebben használatos volt az előzőekben említett befogópofák alkalmazása, ami a mechanikai rögzítés mellett az alkatrészt mindig azonos pozícióba „rendezi”. Manapság elterjedt megoldás, az alkatrész optikai egység segítségével történő középpont-meghatározása, ami lehetséges lézeres egység vagy külső kamera segítségével.

A beültetőgépek részét képezi még a munkaterület, ahol a nyomtatott huzalozású lemez elhelyezkedik a szerelés során. Továbbá rendelkezik egy vezérlő számítógéppel, ami tartalmazza az aktuális termékhez tartozó vezérlő programot, s gyűjti az esetleges statisztikai adatokat a beültetés folyamán.

#### 4.2.3. Az alkatrész-beültetés hibái, azok kiküszöbölési lehetőségei

Az alkatrész-beültetés hibái két csoportra oszthatóak, a beültetőgép programozásából eredő hibákra, és a beültetőgép elhasználódásából eredő hibákra. A programozásra visszavezethető hibák közül tipikus, a polaritással rendelkező alkatrészek rossz irányba ültetése. Jellemző hibák közé sorolható még, amikor a rossz programozásból eredően az áramkörön hiányzó alkatrészek vannak, vagy nem megfelelő típusú alkatrészeket ültetünk be. Ezek az alkatrész beültetési hibák nem működő áramkörhöz vezetnek. Az összes fenti hiba észlelhető a gyártósorokon elhelyezett automatikus optikai ellenőrző berendezésekkel amennyiben rendelkezésre állnak. Az alkatrésztekercesek elcseréléséből eredő hibákat többnyire kiküszöbölik a beültető automaták azzal, hogy az alkatrésztárak vonalkódjait ellenőrzik, és csak akkor indítják el a beültetést, ha a megfelelő alkatrésztár-helyekre a megfelelő alkatrészek vannak tárazva.



4.54. ábra: Alkatrész-beültetés pozícióhibája

A beültetőgép elhasználódásából eredően alapvetően két beültetési hiba a szokványos, a hiányzó alkatrész, és a nem megfelelő pozícióba beültetett alkatrész. A hiányzó alkatrész oka többnyire a pipetta kopása. Ennek következtében a pipetta nem rögzíti megfelelően a felvétel után az alkatrészt, és a beültetőfej mozgása közben elejti azt. Az a hiba, amikor nem a megfelelő

pozícióba ülteti be az alkatrészt a beültetőgép, többnyire kiküszöbölhető a beültetőgép karbantartásával, a beültetőfejek kalibrálásával.

a) Automatizált karbantartási eszközök:

A beültetőgép által használt eszközöket időközönként tisztítani, karbantartani kell. Ezen eszközök miniatűr méretük (pl. szívókák) vagy bonyolultságuk miatt (beültetőfejek) ember általi karbantartása bonyolult és időigényes. Automatizált karbantartásra elérhetőek olyan berendezések, amelyek a teljes tisztítási és karbantartási folyamatot kontrolláltan és stabil minőségben elvégzik.

b) Szívókatisztító

A szívókatisztító berendezés automatikusan átmossa, megtisztítja és ellenőrzi a szívókákat. A folyamat zárt térben történik, karbantartó személyzetnek csupán annyi teendője van, hogy a szívókákat tartalmazó tárolót a gépbe helyezze.

A szívókákon található vonalkód alapján a rendszer tárolja az eseményt, ezzel teljeskörű kontrollunk van az eszközökön.

c) Beültetőfej tisztító

A beültető fej tisztító berendezés automatikusan átmossa, megtisztítja, ellenőrzi és kalibrálja a fejeket. A folyamat zárt térben történik, karbantartó személyzetnek csupán annyi teendője van, hogy a fejet a gépbe helyezze. A fejben található elektronikus azonosító alapján a rendszer tárolja az eseményt, ezzel teljeskörű kontrollunk van az eszközökön.

## 4.3. ÚJRAÖMLESZTÉSES FORRASZTÁS

Az újraömllesztés során az egész áramkör egy kemencébe kerül, ami ezután melegíti azt az előre beállított hőmérséklet–idő függvény szerint. Az áramkör fűtésre adott válasza az ún. hőprofil, ami az áramkör egyes pontjaiban más és más lehet, mivel függ az áramkör anyagjellemzőitől, valamint a kemence fűtési képességeitől. A szükséges az alkalmazott fűtést számos tényező befolyásolja: a forraszpaszta típusa, az áramkör mérete, az alkatrész kompozíció, stb.

A következő fejezetekben az újraömllesztés forrasztással kapcsolatban felmerülő legfontosabb kérdéseket, az újraömllesztő kemencék típusait, a hőprofil és a folyamat paramétereit, a hőprofil mérés alapelveit, valamint az újraömllesztés forrasztás hibáit tekintjük át.

### 4.3.1. Újraömllesztő kemencék típusai, azok felépítése

Az újraömllesztő kemencéket általában a kemencében alkalmazott fűtés típusa és a kemence felépítése alapján szokták csoportosítani.

#### 4.3.1.1. A kemencék fűtési típusai:

Az újraömllesztő kemencékben alkalmazott fűtés típusa, a technológia közel harminc éves múltja során sokat változott és fejlődött. Az alkalmazott fűtési típusok az alábbi családba sorolhatók:

- hősugárzás (radiáció), elektromágneses sugárzás útján, például: infra-sugaras fűtés,
- hőáramlás: (konvekció), természetes vagy kényszerített, például forró levegő áramoltatása
- hővezetés (kondukción), a fűtő és melegítendő felületek közvetlen érintkezése
- vegyes fűtés (infrasaras fűtés, forrógáz befújással),

Az infrasaras fűtés hősugárzási folyamat. A hősugárzás két egymással szemben álló különböző hőmérsékletű tárgy (pl. a Nap és a Föld) között megy végbe, a tárgyak nincsenek fizikai kontaktusban egymással. A kisugárzott hőmennyiség elektromágneses hullámok formájában jut a melegebb testről a hidegebbre. A hullámhossz 0.78 és 1000  $\mu\text{m}$  között változik. Az infrasaras fűtés a legrégebben alkalmazott fűtési forma, a felületszerelési technológia kialakulása kezdetén már megjelent (1980-as évek). A technológia lényege, hogy a forrasztandó áramkört az alá és fölé elhelyezett infrasararzó csövekkel fűtik (4.55. ábra). A fűtési hőmérséklet az infrasararzó csövek teljesítményével szabályozható. A technológia legfőbb előnye a nagy fűtési teljesítmény kis energiaráfordítás mellett.



4.55. ábra: Infrásugárzó cső

Ugyanakkor az infrásugaras fűtés hátránya, hogy a forrasztott alkatrészek emissziós és abszorpciós tényezője (az infrásugárzással szembeni kibocsátási és elnyelődési tényező) széles spektrumban változik. Minden tárgy elnyel valamennyi hősugárzásos hőmennyiséget, de ennek a mértéke nagyban változik. A folyasztozszerkek, műanyagok és kerámia alkatrészek nagyon jó nyelők, viszont a fényes felületek (fémek) nagyon jól visszaverik a radiációs sugarakat. Ez a hatás nagy hőmérsékleti különbségeket eredményezhet a forrasztott áramkörön. Az ilyen típusú fűtésű kemencékben a jobb hőmérséklet eloszlást ventilációs rendszerrel történő, a kemencében lévő gázközeg mozgatásával lehet elérni.

Konvekciós (hőátadásos) fűtés hőtranszport különböző hőmérsékletű folyadék (gáz vagy folyékony halmazállapotú anyag) és szilárd test között történik. A hősugárzással ellentétben a konvekciós hőtranszportnál szükséges, hogy a folyadék és a szilárd test fizikai kontaktusban legyen egymással. A konvekciós hőtranszportnak két típusát különböztetjük meg: a természetes és a kényszer konvekciót. A természetes konvekció esetén a folyadéknak vagy gáznak nincs kényszerített áramlása (pl. gőzfázisú forrasztás esetén), míg kényszer konvekció esetén áramoltatjuk az adott test környezetében (pl. ventilátor segítségével). A kényszer konvekció hatásfoka sokkal nagyobb a természetes konvekcióénál.

Hővezetési (konduktív) fűtés esetén a hőtranszport közvetlen érintkezés útján megy végbe. A konvekciós fűtéssel ellentétben, nem történik anyagáramlás. A folyamat hajtóereje a hőmérséklet különbség. A hőátadás a belső energia részecskékről részecskékre való átadásával történik. Ebben az esetben tehát a forrasztandó alkatrészt a fűtött felülethez préselik, aminek következtében az felmelegszik. A folyamat során nagyon fontos a felületek tisztasága, valamint, hogy az illeszkedés nagyon pontos legyen. Nagyon apró szennyeződés is jelentős mértékben rontja a folyamat hatásfokát.

Vegyes fűtés az infrasugárzós és konvekciós fűtés keresztezéséből született fűtési forma. A kilencvenes évek közepe felé jelent meg, amikor a tisztán konvekciós fűtés a gáz keringető rendszerek alacsony fejlettsége miatt még nem volt kielégítő. A forrógáz befűjás önmagában még nem volt képesek akkora teljesítmény leadására, hogy az infrasugárzókat elhagyhassák. Így az infrasugárzó csövek mellett a forrasztandó áramkörre irányított forrógáz befűjást is alkalmaztak, leginkább az előfűtő és a megömlesztő zónákban. Mivel a konvekciós fűtés nem érzékeny a fűtött anyagokra, ezért ezzel a módszerrel, sokkal homogénebb hőmérséklet-eloszlást lehet elérni a forrasztott áramkörön, mint a tisztán infrasugárzós kemencékkel.

A gázbefűjési rendszerek folyamatos fejlesztése következtében, az ezredfordulón megjelentek a már tisztán konvekciós fűtésű újraömlesztő kemencék. Az infrasugárzó csövek elhagyásával a fejlesztéseik leginkább a gázáramlás formáját (sugár vagy függöny) és típusát (lamináris vagy turbulens) meghatározó fűvókákra és azok optimális elrendezésére irányulnak. Manapság ezek az elterjedten alkalmazott újraömlesztő kemencék, mivel ezekben érhető el a legegyszerűsebb hőmérséklet eloszlás a forrasztás közben.

#### 4.3.1.2. A kemencék felépítése

##### Konvekciós kemencék

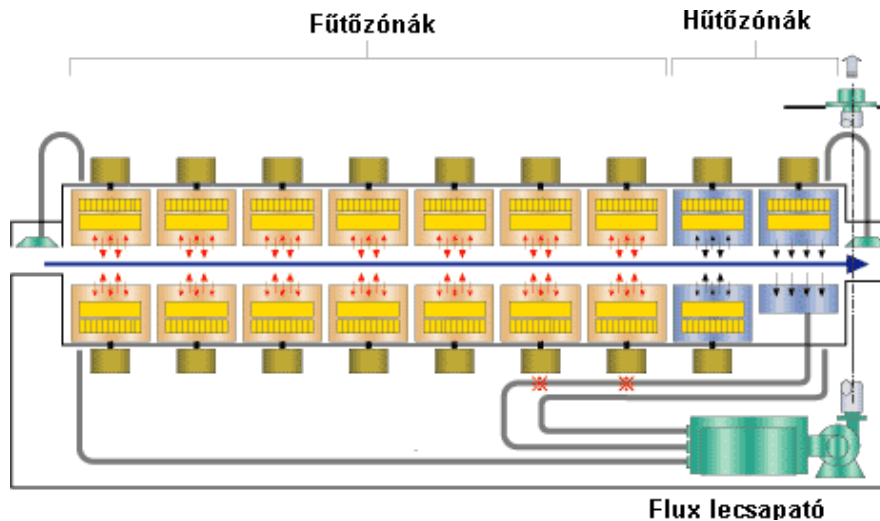
A 4.56. ábrán látható kemence ún. „off-line” azaz nem gyártósorba illeszthető kemence. Az áramkörök ki- és behelyezését, valamint a forrasztási folyamat elindítását is az operátor végzi. Összesen csak 1 darab fűtőzónát tartalmaznak, amely infrasugaras vagy vegyes fűtési rendszerrel ellátott. Méretükből is adódóan kis kapacitásúak, de ugyanakkor kis fogyasztásúak is (~1–3 kW). Alkalmazási területük leginkább a kisszériás prototípusgyártás.



4.56. ábra: Tálcsás újraömlesztő kemence



Az elektronikai tömeggyártásban általában alagút típusú újraömlesztő kemencéket használnak. A kemence egymástól függetlenül szabályozható fűtő- és hűtőzónákból áll, amiken egy szállítószalag viszi keresztül a forrasztandó áramkört. A hőprofil beállítása a fűtő- és hűtőzónák hőmérsékletével, valamint a szállítószalag sebességével történik.



4.57. ábra: Alagút típusú újraömlesztő kemence

A fűtés minél pontosabb szabályozhatóságát egyre több zóna használatával érik el. A mai kemencék 3–11 fűtő és 1–4 hűtőzónát tartalmaznak (a 4.58. ábrán egy átlagos 7/1-es konfiguráció látható). Az alagút kemencékben az összes, fentebb említett fűtési forma alkalmazásra került az idők során, azonban napjainkban főként a tisztán konvekciós fűtést használják.

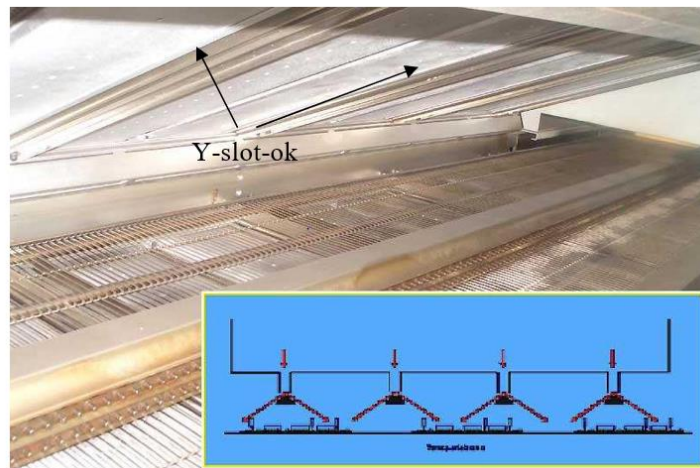


4.58. ábra: Tisztán konvekciós újraömlesztő alagútkemence

Az alagútkemencék jellemzői, a gyártósorba illeszthetőség, nagy termelési kapacitás és az ezzel járó nagy fogyasztás. Az alagútkemencék lényeges további sajátossága – a tálcás kemencékkel szemben – hogy a forrasztás közbeni oxidáció megakadályozása céljából a forrasztás történhet nitrogén atmoszféra alatt is.

Az alagútkemencékben a konvekciós fűtés megvalósítása kétféle módon történhet, amelyek az ún.

„Y-slot-os” illetve „fúvóka-mátrixos” megoldás. Az elnevezések a fűtőgáz kemencébe juttatásának módjára utalnak. Az Y-slot esetében a kemence gáz keringető rendszere a forró gázt, Y alakban elágazó párhuzamos réseken keresztül fújja a hordozóra kvázi 45°-os szögben (4.59. ábrán).

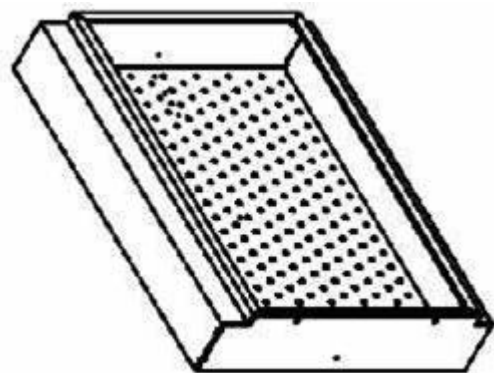


4.59. ábra: „Y-slot”-os fűtési rendszer

Az Y-slot-os fűtés hátránya, hogy ún. turbulens áramlást generál, ami miatt a kemence fűtőképessége nem éri el a maximumát.



a.) belseje



b.) a fúvóka-mátrix

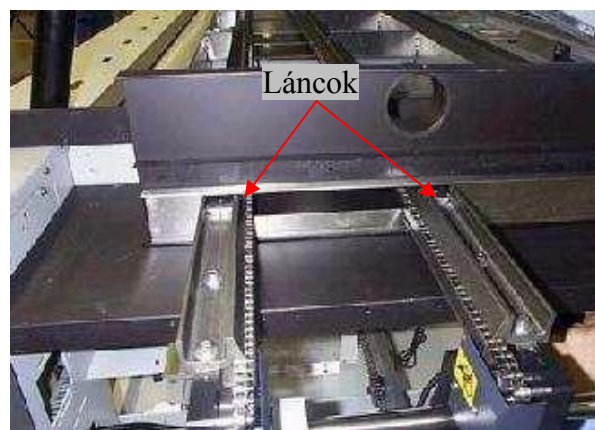
4.60. ábra: Fúvóka-mátrixos kemence

Az Y-slot-nál újabb megoldás az ún. fúvóka-mátrixos fűtés, amely során a kemence gáz keringető rendszere a forró gázt apró mátrixos elrendezésű lyukak tömegén keresztül a hordozóra 90°-os szögben juttatja a kemence munkaterébe (4.60. ábra). A fúvóka-mátrix közel lamináris áramlást generál, amely hatásfoka sokkal jobb, mint az Y-slot-os esetben keletkező turbulens áramlásé, emellett egyenletesebben is juttatja a kemencébe a fűtőgázt, ami következtében homogénebb fűtést lehet elérni. Ennek ellenére a mai napig mindkét féle megoldást alkalmazzák az iparban.

Az alagútkemencék egy következő jellemző tulajdonsága az alkalmazott szállítási módszer, amely alapján megkülönböztetünk ún. „belt-chain” (szalagos) és „pin-chain” (láncos) szállítási módszereket. A „belt-chain” szállítószalag előnye, hogy a szállítószagra bármekkora áramkör ráhelyezhető annak állítása nélkül, hátránya viszont, hogy valamilyen szinten blokkolja az alsó oldali fűtést, továbbá csak egy oldalon szerelt áramkörök gyártására alkalmas. A „pin-chain” szállítási mód esetén a szállítószalag helyett két egymással párhuzamosan elhelyezkedő lánc végzi a hordozó mozgatását a kemencében. Előnye, hogy így a szállítószalag nem blokkolja az alsó oldali fűtést, hátránya, hogy termékváltás esetén a láncok közötti távolságot állítani kell, de ezt a paramétert a kemence az adott termékhez tartozó programjában tárolja és a szélesség beállítását automatikusan elvégzi. Problémát okozhat még az áramkörök görbülése a melegedés hatására. Opcióként használható alátámasztás is, mely ugyancsak egy szállítószalag, ami az áramkör alsó oldalát csak egy keskeny sávban érinti. Így a mindkét oldalon is szerelt áramköri hordozók is gyárthatók problémát okozó deformáció nélkül.

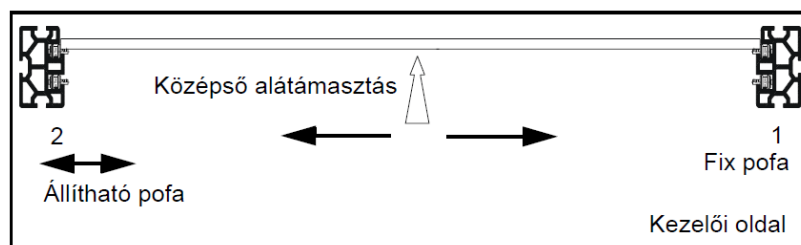


a.) „belt-chain”



b.) „pin-chain”

4.61. ábra: Szállítószalagok típusai

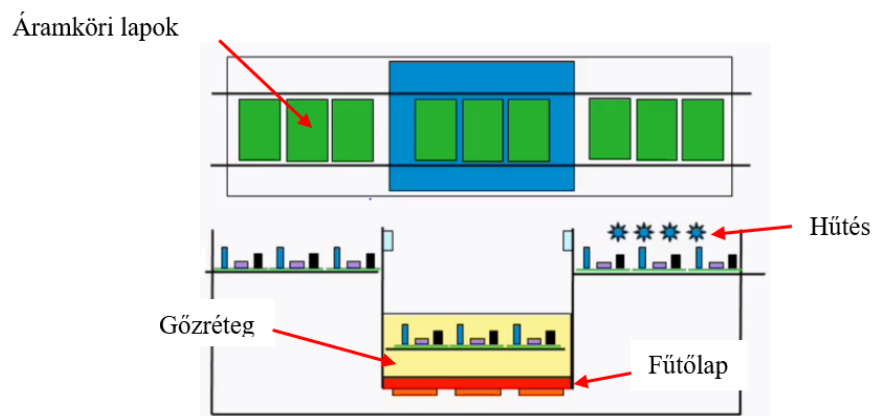


4.62. ábra: A szállítópálya részei: fix és állítható sín, illetve az alátámasztás

### Gőzfázisú forrasztókemencék

Bár az iparban legelterjedtebb forrasztókemence típus a légkeveréses kényszerkonvekció,

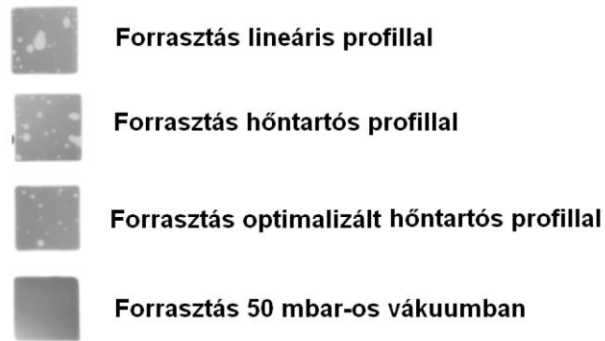
napjainkban egyre jobban teret hódít a gőzfázisú forrasztási technológia is. A technológia alapja, hogy a hő közvetítésére nem levegőt, hanem egy folyadék, azaz a Galden gőzét használjuk fel. A beültetett lemez beforrasztása a telített gőzben megy végbe, oxigénmentes környezetben, ami nagyon nagy előny a többi újraömlesztéses forrasztási technológiával szemben. További nagy előny, hogy a hőátadás sokkal hatékonyabb, valamint a lemezen belüli és az alkatrészek közötti hőmérséklet különbségek minimálisak. A csúcshőmérséklet a Galden forraszponti hőmérséklete, ami ólommentes forrasztás esetében pl. 230 °C. Túlmelegedni vagy megégni így az alkatrészek nem tudnak, ami ugyancsak nagyon nagy előny. A gőzfázisú gépek azonban nagyon lassúak, nagyon nagy ciklusidővel rendelkeznek, így az iparba még nem nagyon tudtak betörni, ahol a legsúlyosabb követelmény a minél több, lehető legjobb minőségű késztermék lehozása. A nagy ciklusidő az áramköri lapok mozgatásából adódik. A technológiából adódóan a lemezeket vertikálisan mozgatva kell a gőzrétegbe „mártanunk”. Mindez sok időt vesz igénybe. A gyártók próbálkoznak különböző megoldásokkal gyorsítani a folyamatot, de még mindig elmaradnak az általánosan elterjedt légkeveréses kényszerkonvekciós kemencék mögött.



4.63. ábra: Egy gőzfázisú forrasztógép keresztmetszeti rajza

### Vákuumozási opcióval ellátott kemence

A fent felsorolt kemencetípusoknak létezik vákuumozási opcióval ellátott változata is. A forrasztási folyamat során sok esetben előfordulhat, hogy a forrasztott kötésekben zárványok alakulhatnak ki. (Erről a következő fejezetben bővebben is szó lesz.) A probléma kiküszöbölésére a gépekbe zárható kamrát építettek egy vákuumpumpával szerelve. Ennek a feladata, hogy a megömlött állapotban lévő forraszból kiszívja a benne rekedt, folyasztószerből visszamaradt gázokat vagy bezárt levegőbuborékokat. A forraszkötés ezután szerkezetileg homogénebb és nagyobb megbízhatóságú lesz.

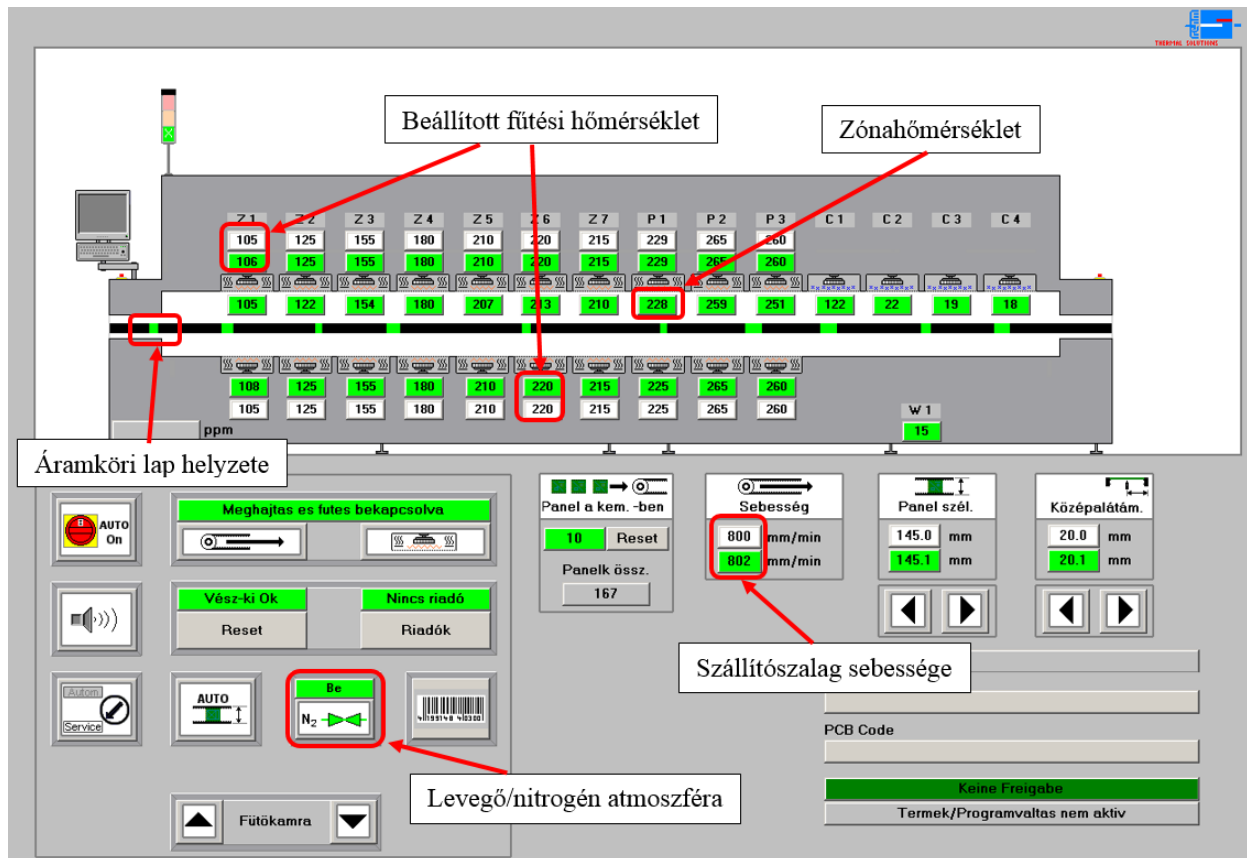


4.64. ábra: A különböző hőprofilbeállítások és a vákuum opció használatának hatásai (röntgenfelvételek)

### 4.3.2. Az újraömlésztéses forrasztás hőprofilja, folyamatparaméterek

A kemencékben az áramkörök felfűtése és lehűtése előre beállított hőprofil alapján történik. Fontos hangsúlyozni, hogy egy adott kemence beállítás mellett a hőprofil a különböző felépítésű áramkörök esetén más és más lehet, mivel az adott áramkör mérete, tömege, anyag összetétele mind-mind hatással van annak termikus viselkedésére. Ezért az alkalmazott hőprofil nem egy kemence paraméter, hanem a kemence beállításától és a forrasztott áramkör fizikai paramétereitől együttesen függő tényező.

A hőprofil tárgyalása előtt ejtsünk néhány szót a kemencékben beállítható forrasztási paramétereikről. Mivel manapság a tömeggyártásban szinte kizárólagosan konvenciók kemencéket alkalmazunk, ezért most csak az ilyen típusú kemencék beállítási paramétereire szorítkozunk. Általános esetben a kemencékben megadható a zónák felső és alsó hőmérséklete, valamint a szállítószalag sebessége. Némely kemencék esetében a befűjt fűtőgáz mennyisége is szabályozható, de mivel a túlságosan nagysebességgel befűjt gázáram elfűjhatja az alkatrészeket, ezért az ilyen irányú beavatkozások veszélyesek, ezért a legtöbb kemencegyártó nem is ad erre lehetőséget.



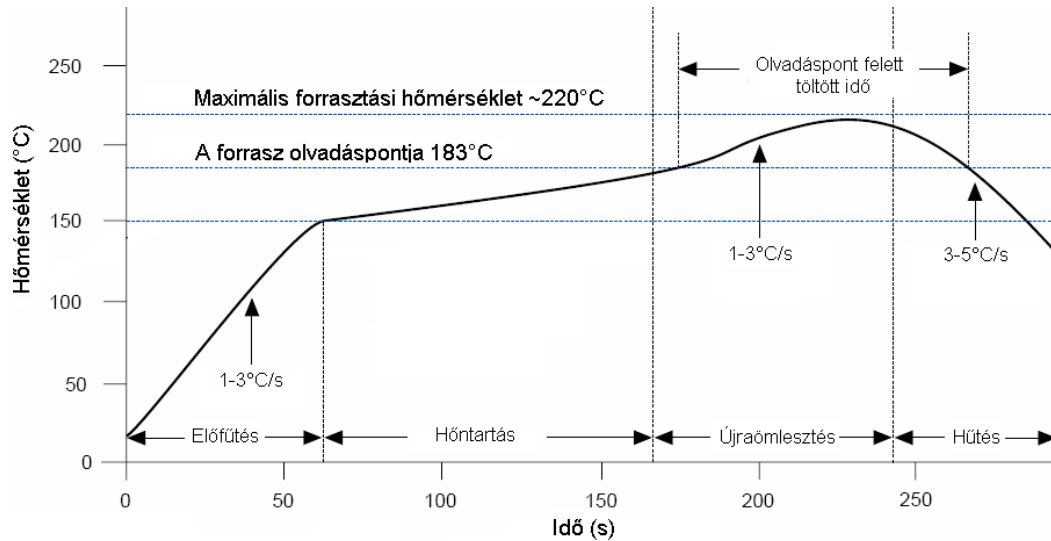
4.65. ábra: Rehm konvekciós újraömlesztő kemence kezelőfelülete

A hőprofilok két csoportra oszthatók, az ún. lineáris és hőntartós hőprofilok.

A 4.66. ábra egy tipikus, ólmos forrasztásra jellemző hőntartós hőprofilot mutat. A hőprofil négy fő szakaszra osztható, melyek:

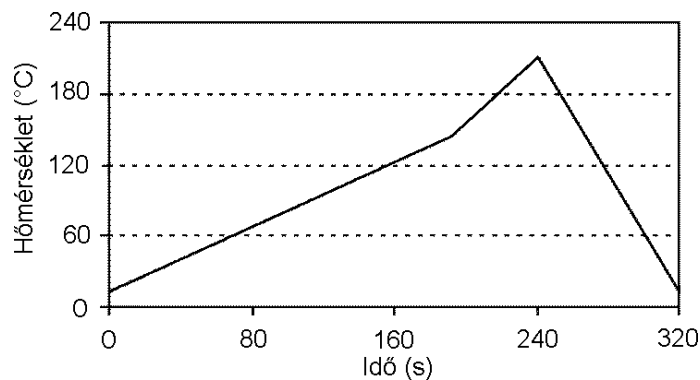
1. Előfűtés, amely során az áramkört gyorsan 1-3 °C/s-os meredekséggel fűtik a szobahőmérsékletéről hozzávetőleg 150 °C-ig;
2. hőntartás, kis meredekségű (0,5-1 °C) fűtés közel a forrasz olvadáspontjáiig. Célja, hogy minél kisebb legyen az áramkörben a hőmérsékleti gradiens;
3. újraömlesztés, ismét egy meredek 1-3 °C/s-os fűtés a forrasz olvadáspontja fölé hozzávetőleg 40 °C-al. Célja, hogy a hőmérséklet mindenhol legalább 20 °C-al meghaladja az olvadáspontot;
4. hűtés, az áramkör lehűtése 3-5 °C/s-os meredekséggel szobahőmérsékletűre.





4.66. ábra: Az újraömlésztéses forrasztás tipikus hőprofilja

A hőprofil egy további lényeges paramétere a maximális forrasztási hőmérséklet, amelynek meghaladása veszélyezteti az alkatrészek épségét, valamint az olvadáspont felett töltött idő, amely a megbízható kötések létrejöttét garantálja.



4.67. ábra: Lineáris hőprofil

A megbízható kötések létrejöttek az a feltétele, hogy a forrasz olvadáspontját legalább 20 másodpercig minimum 20 °C-al meghaladjuk.

A 4.67. ábra egy ólmos forrasztásra jellemző ún. lineáris hőprofil illusztrál. A 4.66. ábrán szemléltetett hőntartós hőprofilhoz képest az egyetlen különbség az, hogy itt a csúcshőmérséklet elérése közel lineáris fűtéssel történik. Hiányzik a hőntartási szakasz, amely az előző esetben a különféle méretű és anyagú alkatrészek hőmérsékletének kiegyenlítésére szolgált. Ebből adóan, míg a hőntartós hőprofilokat a nagyméretű, vegyes alkatrész összetételű és sűrűn szerelt áramköröknél alkalmazzuk, addig a lineáris hőprofilok leginkább a kisméretű, kevés és

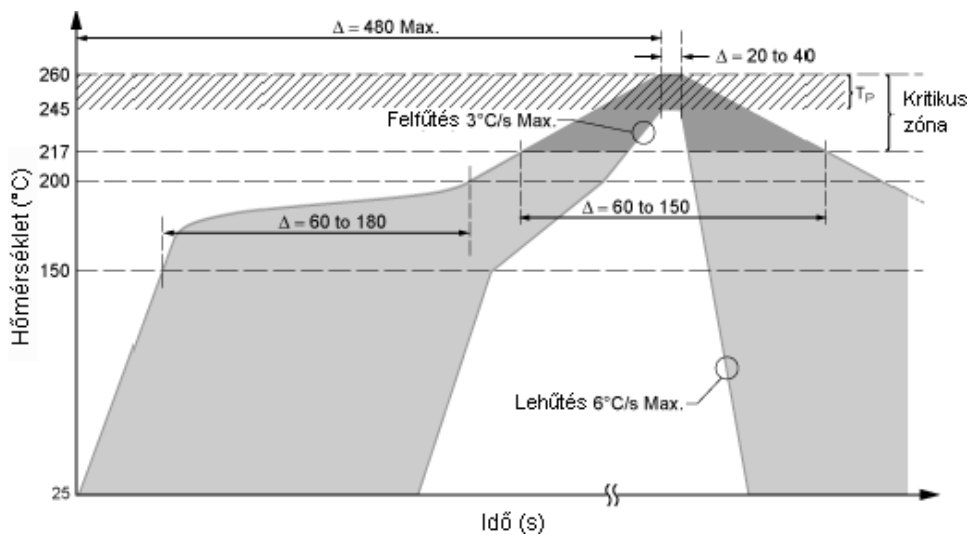
egymáshoz hasonló méretű alkatrészeket tartalmazó áramköröknél.

Ólommentes forraszok esetében a fent bemutatott hőprofilok jellegre teljesen hasonlóak, azonban az ólommentes forraszok magasabb olvadáspontja miatt a hőprofil hőmérsékleti értékei magasabbak, aminek következtében a forrasztási idő némileg hosszabb. Ez azonban számottevő kihatással van két további lényeges hőprofil paraméterre, amelyek:

$\Delta T$ : a forrasztás során bekövetkező hőmérséklet különbség az áramkör különböző pontjai között egy azonos időpillanatban.

$T_p$ : ún. műveleti ablak (process window) amely a megbízható kötések létrehozásához szükséges minimális csúcshőmérséklet valamint az alkatrészek által maximálisan elviselt csúcshőmérséklet közötti különbség.

A maximálisan megengedhető  $\Delta T$  határokat ún. tolerancia sávokkal szokás megadni, amik egyúttal tartalmazzák a maximális és minimális fűtési és hűtési gradienseket is ( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ). (pl. a 4.68. ábrán a szürke sávokkal határolt terület). Ha az alkalmazott hőprofil kilép a tolerancia sávból, akkor az elkészült kötések megbízhatósága kérdéses lesz.

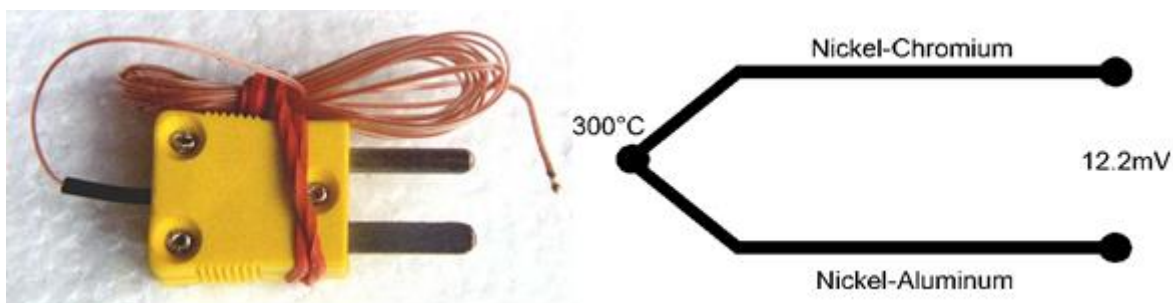


4.68. ábra: Toleranciasávok ólommentes forrasztás esetén

A  $T_p$  műveleti ablak szintén a 4.68. ábrán figyelhető meg. Az ólommentes technológia által keletkezett egyik legnagyobb probléma a műveleti ablak beszűkülése. Az ólmos forraszok esetén megszokott  $\sim 50^{\circ}\text{C}$ -ról a műveleti ablak ólommentes esetben  $\sim 15^{\circ}\text{C}$ -ra szűkült. Ez csak igen pontos hőmérsékletszabályozással érhető el.

A forrasztási hőprofil mérésének alapelvei:

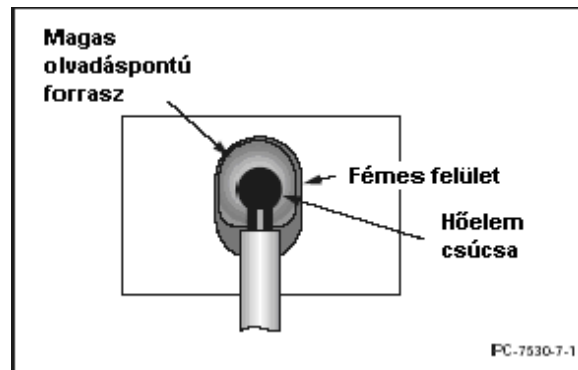
- Ahogy az előző fejezetben említettük, egy adott kemence beállítás mellett a hőprofil a különböző felépítésű áramkörök esetén más és más lehet, mivel az adott áramkör mérete, tömege, anyag összetétele mind-mind hatással van annak termikus viselkedésére. Éppen ezért az adott kemence beállítások mellett a hőprofil minden egy különböző típusú termék esetében méréssel kell meghatározni. Ezt egy hőprofil mérő szett segítségével végezhetjük el, ami az alábbi alkatrészekből áll.
- A hőelem két különböző fémhuzalból áll, amelyek egyik végét összehegesztik, ez a pont a hőelem mérőpontja. A mérési az ún. Peltier elven alapszik, miszerint a mérőponton lévő hőmérséklet hatására a hőelem szabad végei között feszültség különbség keletkezik. Ebből a feszültség különbségből és a hőelem feszültség–hőmérséklet karakterisztikájából meghatározható a mért hőmérséklet.



4.69. ábra: A hőelem

Különböző fém kombinációk más-más hőmérséklet-feszültség karakterisztikával rendelkeznek. Az újraömllesztéses forrasztási technológiában általában K típusú hőelemeket alkalmazunk, amelyek huzalai NiCr–NiAl összetételűek. A K típusú hőelemek méréstartomány - 270 – +1370 °C között van, ami azonban lényeges, hogy a számunkra érdekes 20 – 300 °C-os tartományban a feszültség–hőmérséklet karakterisztikája közel lineáris, megkönnyítve ezzel a mérés kiértékelését. A K típusú hőelemek abszolút mérési bizonytalansága általában  $\pm 0.5$  °C, ami a hőprofil mérések során gyakorlatilag elhanyagolható.

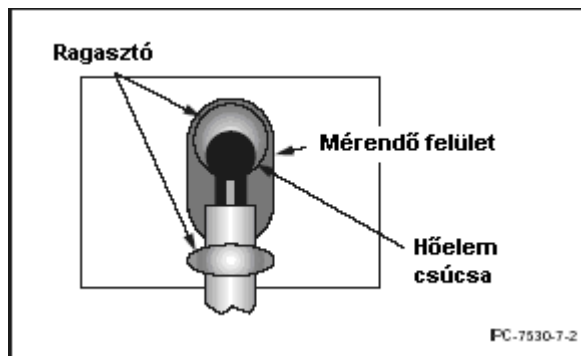
Hőelemek rögzítése a nyomtatott huzalozású áramkörön alapvetően kétféle felületen lehetséges, amelyek a fémes és nem fémes felületek. Fémes felületek az alkatrészek kivezetései, a forrasztási felületek és hőelvezető felületek, míg nem fémes felületek az alkatrésztokok és az áramkör felszínét borító forrasztásgátló lakk. A rögzítés három módon történhet, kemény forrasztással, ragasztó pasztával és hőálló (kapton) ragasztószalaggal.



4.70. ábra: Hőelem rögzítése keményforrasztással

A keményforrasztással történő rögzítést – az IPC 7530-as szabvány szerint – a 4.70. ábra mutatja. Az alkalmazott forrasztótvözet általában magas ólomtartalmú pl. 96Pb/4Sn vagy 90Pb/10Sn, amely olvadáspontja (~320 és 310 °C) jóval az újraömllesztéses forrasztásnál alkalmazott hőmérséklet felett van. A módszer előnye, hogy rendkívül tartós kapcsolatot biztosít, a hőelem általában hamarabb megy tönkre, mint a rögzítés, valamint, hogy rendkívül jó a hőcsatolás a hőelem és a mérendő felület között. Egyetlen hátránya, hogy a forrasztásból adódóan csak fémes felületek esetén alkalmazható.

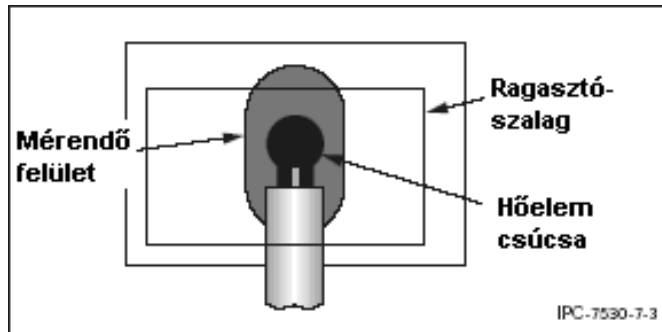
Az egyik legelterjedtebben alkalmazott technológiát, amely a hőre keményedő ragasztóval történő rögzítés, a 4.71. ábra mutatja (IPC 3750). Az alkalmazott ragasztó minden esetben valamilyen „ $\beta$  típusú” hőre keményedő ragasztó paszta, amely kikeményítése történhet hőlégfúvóval vagy akár az újraömllesztő kemencében is. Az alkalmazott ragasztók hozzávetőleg 300 °C-os hőterhelést probléma nélkül elviselnek. Ennél a technológiánál – az előző esettel ellentétben – a nagyobb mechanikai stabilitás érdekében a hőelem végét két helyen is rögzítjük a mérendő felülethez, amelyek a hőelem csúcsa és a hőelem burkolatának vége.



4.71. ábra: Hőelem rögzítése ragasztó pasztával

A módszer előnye, hogy bármilyen felülethez rögzíthetünk vele hőelemet, míg hátránya a forrasztásnál gyengébb mechanikai stabilitás és a rosszabb hővezetés. A rosszabb hővezetés miatt a mért értékeink kevésbé fogják közelíteni a valóságot, mint a kemény forrasztással rögzített hőelemek esetén, azonban a hiba a legtöbb esetben nem számottevő.

A harmadik módszer, a hőelem hőálló ragasztószalaggal történő rögzítését a 4.72. ábra mutatja (IPC 3750).



4.72. ábra: Hőelem rögzítése hőálló ragasztószalaggal

Az alkalmazott hőálló ragasztószalag általában a „kapton” elnevezésű hőálló műanyagból készül, amely hozzávetőleg 370 °C-ig termikusan stabil. A megfelelő mechanikai stabilitás eléréséhez nem csak a hőelem csúcsát, hanem a hőelem burkolat végének egy részét is rögzíteni kell a mérendő felülethez. A módszer előnye, hogy bármilyen felülethez gyorsan és egyszerűen tudjuk rögzíteni a hőelemet, hátránya viszont, hogy nem biztosít tartós és megbízható rögzítést. A hőelem és a mérendő felület között legtöbbször marad egy levegő buborék, ami rossz hővezetése miatt nagymértékben meghamisítja a mérés eredményét.

Összegzésképpen fontos hangsúlyozni, hogy a hőelem rögzítésére szolgáló anyag mindenképpen

mérési hibát visz a rendszerbe (bár eltérő mértékben), ezért törekedjünk a minél kevesebb, de ugyanakkor még elégséges mennyiségű rögzítő anyag használatára.

A hőprofil mérésekhez szükségünk van egy az adott termékből preparált hőprofil mérő tesztlemeze. Lényeges, hogy az elkészített tesztlemez szerelési szintje mindig azt az állapotot tükrözze, amihez a hőprofil meg szeretnénk mérni. Azaz a tesztlemez, amennyire csak lehet, egyezzen meg a kemencébe kerülő termékkel, lehetőleg ne tartalmazzon se, több se kevesebb alkatrészt, mint a mennyit az adott termék az újraömlésztéses forrasztás során fog.

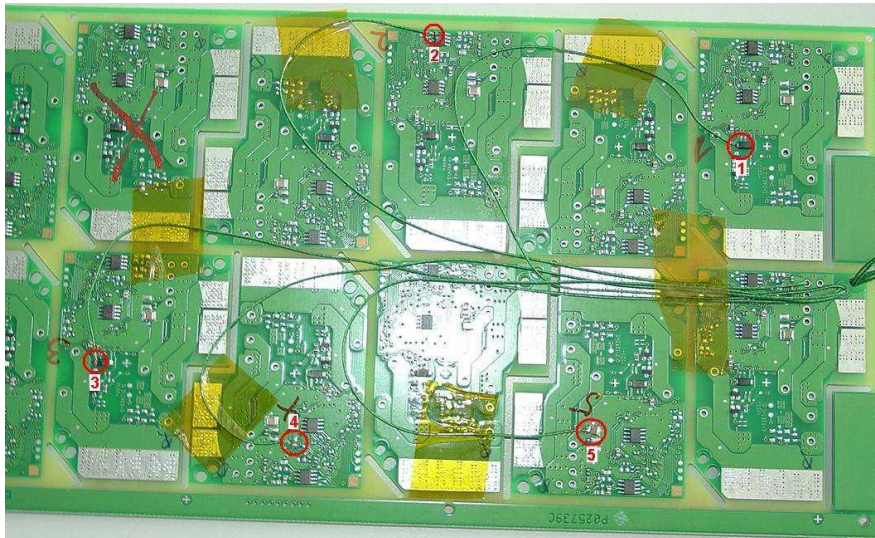
Ahogy azt már tárgyaltuk, az áramkörökön található különböző anyagú, méretű és így különböző hőkapacitású alkatrészek melegezése, még a termikus szempontból legprecízebben szabályozható kényszer-konvekciós kemencékben is eltérhet. Éppen ezért a hőprofil meghatározását egy adott termék esetében nem elegendő egy mérési pontban elvégezni, hanem törekednünk kell arra, hogy a termékről minél több pontban nyerjünk információt. Termékenként egyszerre általában 6–8 pontban szoktunk hőprofil mérni. Ha a 6 – 8 mérési pont nem elég, akkor akár több hőprofil mérő tesztlemez is készíthető egy adott termékhez.

Azt, hogy egy konkrét terméken mely pontokban mérünk hőprofil, az adott termék tulajdonságai és a saját tapasztalataink határozzák meg, a következő „ökölszabályok” figyelembevételével:

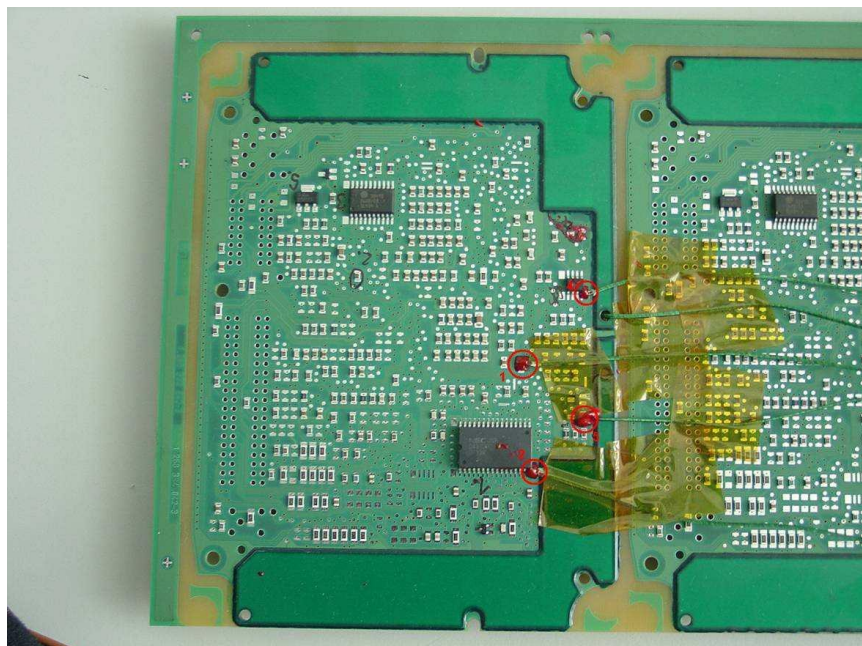
- mérjük a legkisebb alkatrésztípuson, hogy elkerüljük az esetleges hősokek kialakulását,
- mérjük a legnagyobb méretű alkatrész típus kötésein, hogy elkerüljük az esetleges hidegförasztások kialakulását,
- mérjük a hordozó felszínén,
- mérjük a forrasztás szempontjából kockázatos helyeken (pl. BGA alkatrészek, hőre érzékeny alkatrészek),
- mérjük az áramkör minél távolabbi pontjain, hogy minél inkább feltérképezzük az adott termék termikus tulajdonságait,
- mérjük az áramkör alsó oldalán (kétoldalas felületszerelés esetén), hogy megelőzzük a túl magas alsó oldali hőmérsékletet, amely a felső oldal forrasztása közben az alkatrészek lehullásához vezethet,
- mérjük a hőelnyelő pontok közelében található alkatrészek kötésein, hogy elkerüljük az esetleges hidegförasztásokat,
- és végül mérjük minden olyan pontba, ahol a tapasztalataink szerint az adott termék esetén problémák lépnek fel.



A 4.73. ábra egy hőprofil mérési elrendezést illusztrál. Figyeljük meg, hogy a mérési pontok a hordozó felszínén elszórtan helyezkednek el, kisebb és nagyobb méretű alkatrészeken egyaránt.



4.73. ábra: Hőprofil mérő tesztlemez



4.74. ábra: Hibás kivitelezésű hőprofil mérő tesztlemez

A hőelemet keményforrasztással rögzítették, a hőálló ragasztószalagot csak a hőelemek vezetékének rögzítésére és rendszerezésére alkalmazták. Ezzel szemben a 4.74. ábra egy hibásan kivitelezett mérési elrendezést mutat. A mérési pontok túl sűrűn helyezkednek el, valamint a rögzítésre használt ragasztó paszta mennyisége is túl sok.

A hőprofil mérő tesztlemezeket nem csak egyszer, az adott termék gyártásának kezdetén használjuk a hőprofil beállítására, hanem a későbbiek folyamán a kezdetekben beállított hőprofil

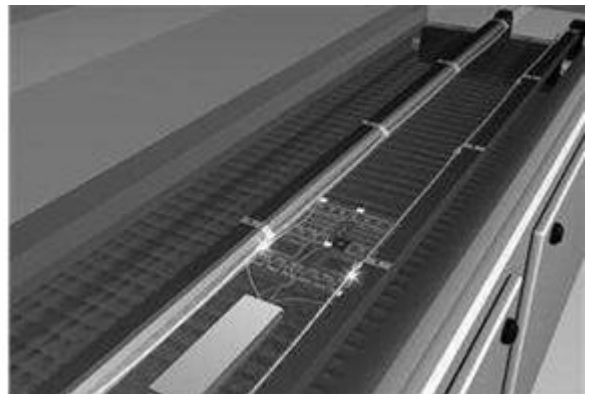
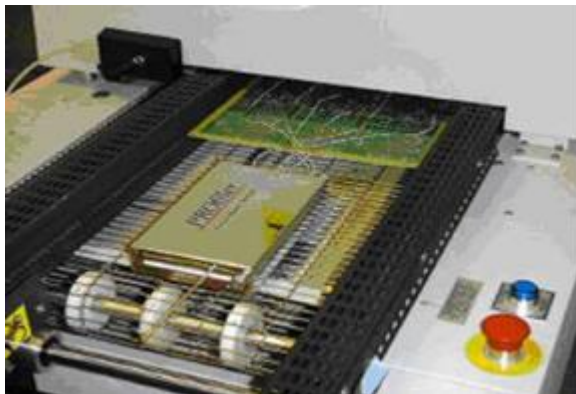
ellenőrzésére is. Ezért fontos, hogy a tesztlemezen a hőelemek rögzítése tartós és megbízható legyen.

Hőprofil mérés során a hőelem csatlakozókat egy adatrögzítőhöz kapcsoljuk, ezért a mérés közben az adatrögzítő is együtt utazik a kemencében a tesztlemezzel.



4.75. ábra: Hőprofil mérő szett

Így viszont az adatrögzítő áramkört meg kell óvnunk a forrasztás során alkalmazott hőterheléstől. Erre általában nagy hőkapacitású acélborítású és kevlár/kerámia bélésű dobozokat használnak. A doboz nagy hőkapacitása miatt csak lassan képes felmelegedni, így megvédi a belsejében elhelyezett adatrögzítő áramkört (4.75. ábra).

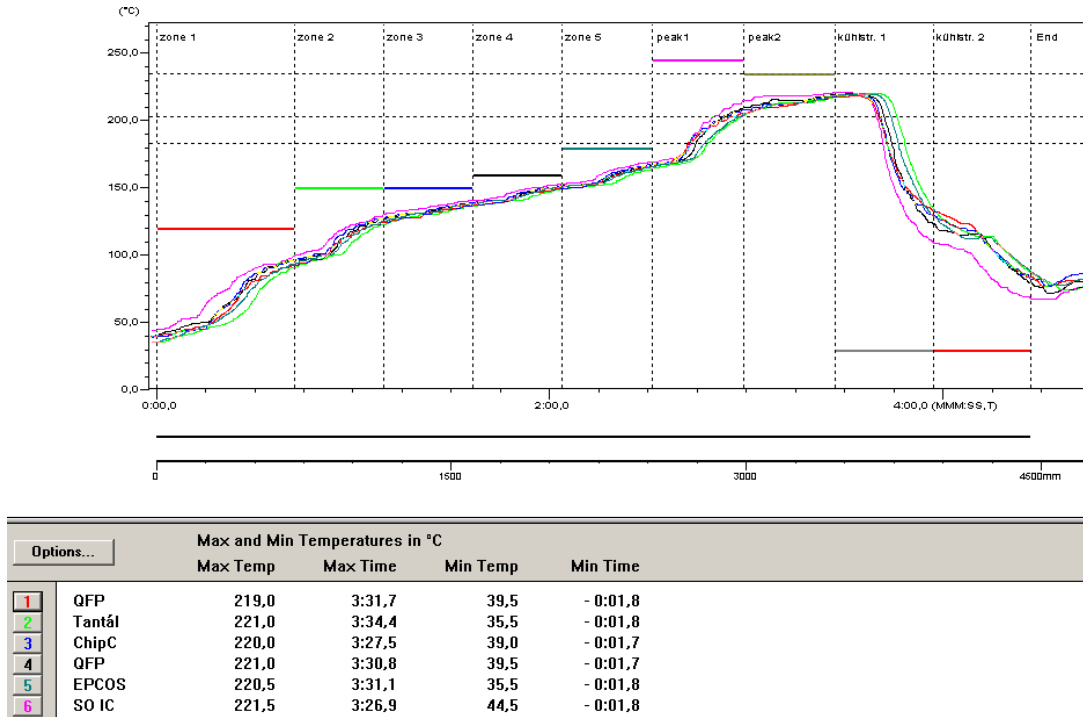


4.76. ábra: Hőprofilmérő rendszer a kemencében

A mérési adatok kiértékelése számítógépes célprogramok segítségével történik. A program először letölti az adatrögzítőből a mérési adatokat, majd a külön csatornán mért hőprofilokat megjeleníti a képernyőn.

A kiértékelő program segítségével az egyes mérési helyeket név szerint is megadhatjuk (pl. SO

IC), valamint egy virtuális panelen még a pontos helyüket is eltárolhatjuk a későbbi azonosíthatóság kedvéért. A program egy gombnyomással megadja a mért hőprofilok fő paramétereit: maximális hőmérséklet, minimális hőmérséklet, olvadáspont elérése és a fölötte eltöltött idő, a minimális forrasztási hőmérséklet elérése és a fölötte eltöltött idő, a kritikus hőmérséklet elérése és a fölötte eltöltött idő, a hőprofilok egyes szakaszainak meredeksége.



4.77. ábra: Hőprofil kiértékelő program

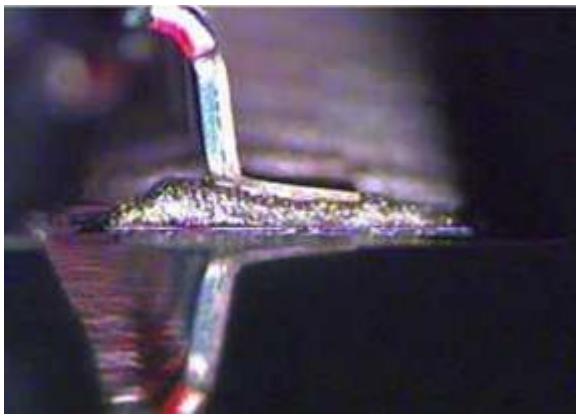
A mért hőprofilok eltárolhatók, hogy a későbbi hőprofil ellenőrzések során megvizsgálhassuk az esetleges változásokat. Ahogy fentebb már tárgyaltuk a hőprofil mérés nem csak annak első beállítása során kell elvégezni, hanem rendszeres időközönként ellenőrizni kell, hogy a hőprofilunk megfelel-e még a gyártási szabványokban előírtaknak. Az ellenőrzést általában 2–4 hetente szoktuk elvégezni.

### 4.3.3. Az újraömlésztéses forrasztás hibái, azok kiküszöbölési lehetőségei

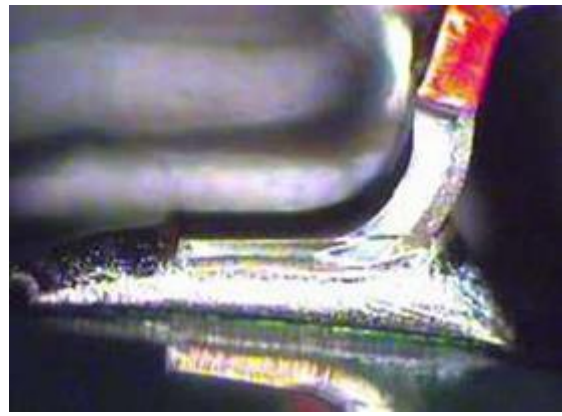
A fentiekben tárgyalt számos hőprofil ellenőrzési eszköz és lépés egyik legfontosabb célja a forrasztási hibák elkerülése. A következőkben sorra vesszük, hogy a nem megfelelően beállított hőprofil paraméterek milyen forrasztási hibákat okozhatnak.



Alacsony és/vagy nem elég hosszan tartott csúcshőmérséklet: Ha a forrasztási hőmérséklet nem haladja meg legalább 20 °C-al az alkalmazott forrasztóanyag olvadáspontját, valamint a forrasztóanyag nem tölt el az olvadási pontja fölött legalább 40–60 s-ot, akkor a forrasztópasztában lévő apró forrasztógolyók nem képesek teljes mértékben összeolvadni és így nem képesek az alkatrészlábakat megfelelően nedvesíteni. A 4.78. a) ábrán megfigyelhető, hogy a forrasztógolyók csak részben olvadtak össze, még a 4.78. b) ábrán ugyan megtörtént a forrasztógolyók összeolvadása, de az alkatrészláb nedvesítése már csak alig. Ezáltal megbízhatatlan kötések keletkeznek, mivel az ilyen kötések mechanikai szilárdsága és élettartama jóval kisebb, sőt szélsőséges esetekben egyáltalán nem jön létre a forrasztott kötés.



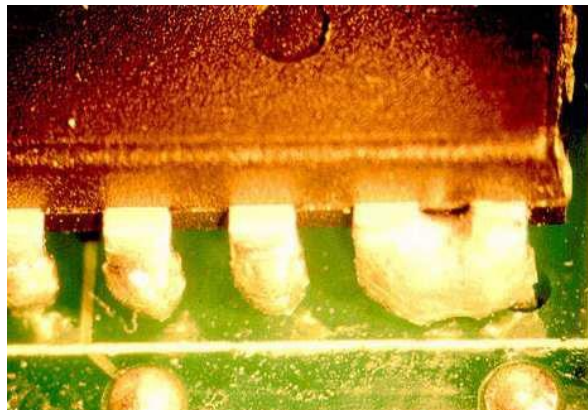
a.) részben megolvadt forrasztó



b.) hiányos nedvesítés

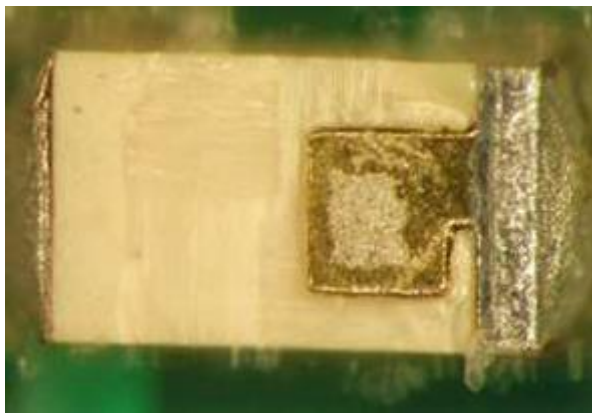
4.78. ábra: Hibás kötések

Szintén az alacsony csúcshőmérsékletnek köszönhetően forrasztási zárlatok is keletkezhetnek (4.79. ábra). Ha a pasztanyomtatás során esetlegesen több paszta kerül a szomszédos forrasztási felületekre és így zárlatot okozva azok között, akkor azt a megfelelő mértékű nedvesítés még minden további gond nélkül meg tudja szüntetni, azonban, ha nem megfelelő a nedvesítés a zárlat megmarad.

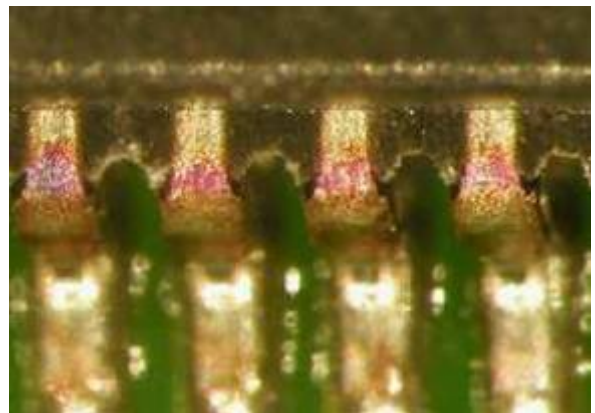


4.79. ábra: Hiányos nedvesítés miatt bekövetkező zárlat

Magas csúcshőmérséklet: Ha a forrasztás csúcshőmérséklete meghaladja az áramkörön található alkatrészek tűréshatárát, akkor az az alkatrészek sérüléséhez vezethet. A sérülésre a legtöbb szabad szemmel is érzékelhető, máskor viszont csak az alkatrész tokon belül következik be csak apró vagy akár mindenféle külső nyom nélkül. Ezért a megengedett csúcshőmérséklet átlépése esetén az elkészült áramkört mindenképpen rossznak kell tekintenünk, még ha nem is látunk rajta fizikai sérülést. A 4.80. ábrán két különféle alkatrészsérülést figyelhetünk meg. Az a.) képen látható LED a hőszokk következtében elvesztette a fedelét, még a b.) képen az IC sérülésére csak a lábaira kiült, vörös égésnyomokból következtethetünk.



a.) LED



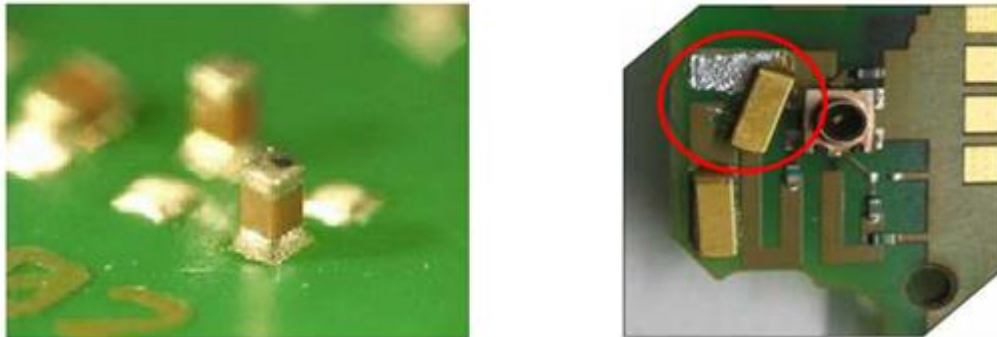
b.) SO-IC lábai

4.80. ábra: Hőszokkot kapott alkatrészek

A szokásos értelemben vett csúcshőmérséklet mellett minden esetben definiálunk egy alsóoldali csúcshőmérsékletet is, amit nem az alsó oldalon található alkatrészek tűréshatára szab meg, hanem az, hogy mekkora hőmérséklet hatására olvadnak meg és esetlegesen válnak le vagy mozdulnak el a felsőoldal forrasztása közben az alsóoldali alkatrészek. A kisméretű alkatrészek leválása elég ritka, azonban a nagyobb és nehezebb alkatrészek esetén (különösen a tekercseknél) könnyedén megtörténhet, mivel a megolvadt forrasztás nedvesítési ereje nem képes az alkatrész súlyának megtartására.

Rövid hőntartás: Rövid hőntartási szakasz esetén vagy a hőntartás teljes elhagyásával a hordozó felszínén megnövekszik a fentebb tárgyalt  $\Delta T$ , amely egyik legfőbb következménye, hogy egyes alkatrészek kivezetései eltérő mértékben melegedhetnek. A rövid idejű hőntartás miatt a kivezetéseik között kialakult hőmérséklet különbség a forrasztás megömléséig is megmarad. Emiatt a kivezetők egy részén hamarabb indul meg a nedvesítés, ami a kétpólusú alkatrészeknél

az ún. sírkőeffektushoz, még a több kivezetős alkatrészeknél az alkatrész elúszásához vezethet (4.81. ábra).

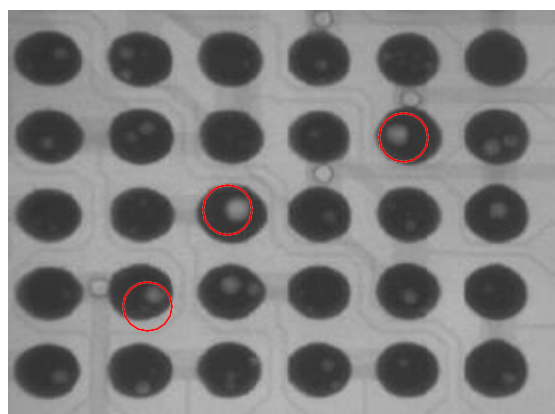


a.) sírkőképződés

b.) elúzás

4.81. ábra: Alkatrész elmozdulások

Forraszgolyós kötésű alkatrészek esetén (pl. BGA) ha túl rövid a hőntartás, akkor nincs ideje eltávolítani a kötésekből a folyasztószer gőzöknek, ami a forraszkötésben zárványképződéshez vezet (4.82. ábra). Ettől ugyan még létrejönnek a kötések, de azok mechanikai szilárdsága, vezetőképessége és élettartama jóval kisebb lesz. Meg kell azonban jegyezni, hogy forraszgolyós kötések esetén általában elkerülhetetlen egy alacsony szintű zárványosodás, ezért még a legszigorúbb szabványok (pl. autóelektronika) is megengednek egy bizonyos fokú zárványosodást (pl. a zárványok térfogata <math><10\%</math> a kötés térfogatához viszonyítva).

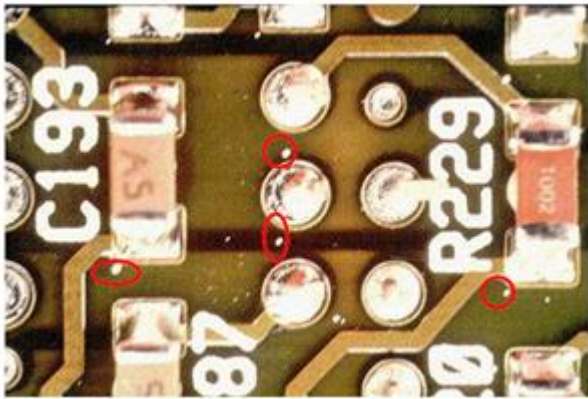


4.82. ábra: BGA alkatrész kötéseiben kialakult zárványok

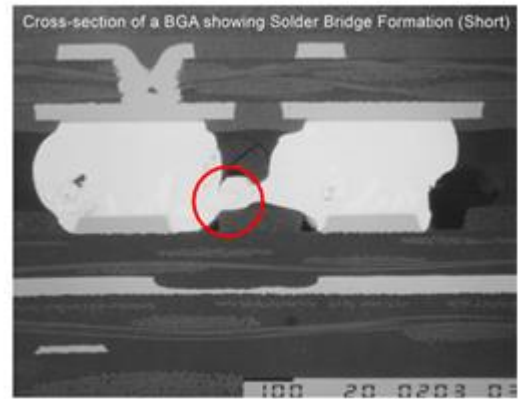
Túl meredek felfűtés a csúcshőmérsékletig: Ha a felfűtés meredeksége meghaladja az alkalmazott paszta tűréshatárát (tipikusan max. 3 °C/s), akkor a paszta megolvadása „túl hirtelen” történik meg, ami közben a forraszból apró darabok válnak ki, amik a forrasztásgátló lakkal érintkezve



apró golyókká alakulnak. Ezek a forraszgolyók önmagukban nem okoznak problémát, azonban, ha beékelődnek a finom raszterosztású alkatrész kivezetései közé (pl. QFP vagy BGA tokozású alkatrészek) könnyedén zárlatot okozhatnak. A 4.83. b.) ábrán a BGA alkatrész két szomszédos kötése közé beékelődött forraszgolyó látható a keresztcsiszolaton.



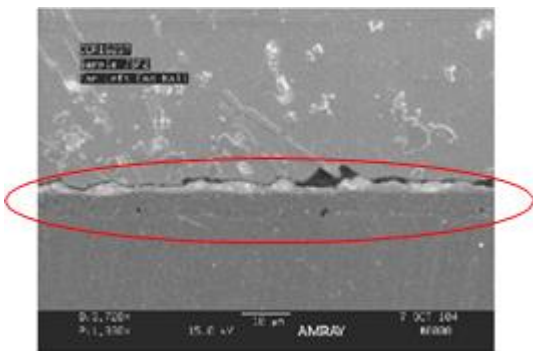
a.) a szerelőlemez felszínén



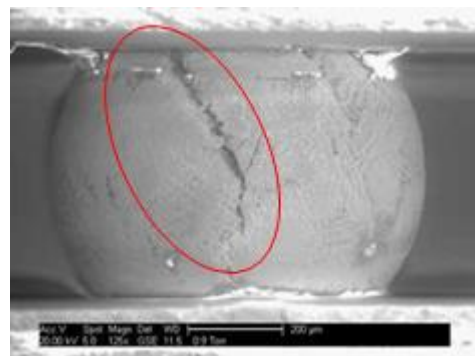
b.) BGA alkatrész kötése között

4.83. ábra: Forraszgolyók

Túl meredek lehűtés: Ha a forrasztás utáni lehűtés meredeksége meghaladja az alkalmazott paszta tűréshatárát (tipikusan  $-6\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ), akkor a paszta megszilárdulása „túl hirtelen” történik meg, ami miatt a kötésekben repedések keletkeznek (4.84. ábra). Ezek a repedések kezdetben lehetnek mindössze mikroszkopikusak is, azonban a kötések öregedésével, a külső környezeti hatások miatt folyamatosan növekednek és előbb – utóbb a kötések időelőtti tönkremeneteléhez vezetnek.



a.) repedés a kontaktus felület közelében



b.) repedés a BGA alkatrész golyós kötésében

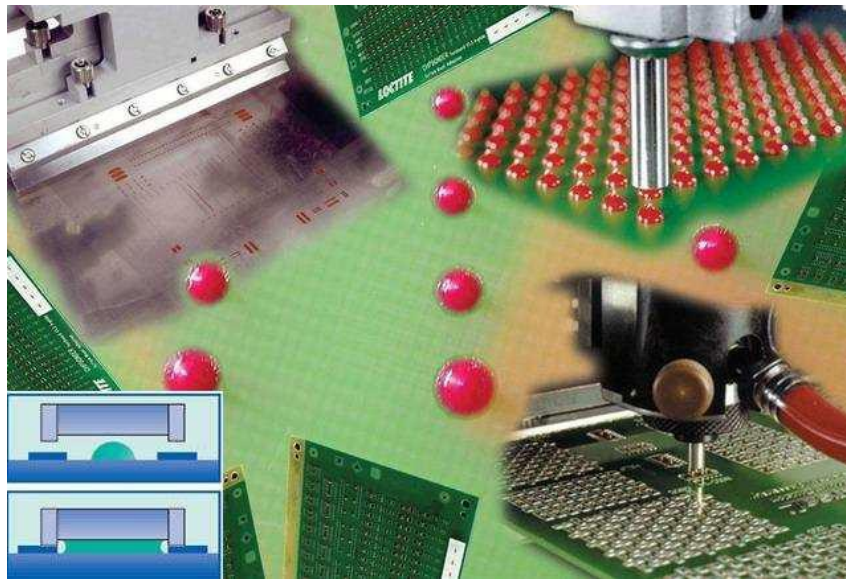
4.84. ábra: Repedések a forrasztott kötésekben

## 4.4. FELÜLETSZERELT ALKATRÉSZEK HULLÁMFORRASZTÁSA

A felületszerelt alkatrészek forrasztásának egy másik alternatívája (az újraömllesztéses forrasztás mellett) a hullámforrasztás. Ehhez viszont az alkatrészeket először rögzítenünk kell a hordozón. A rögzítés egy ún. SMD ragasztó segítségével történik a hullámforrasztást megelőzően.

### 4.4.1. SMD ragasztók technológiája

A felületszerelési technológiában alkalmazott SMD ragasztók általában hőre keményedő ( $\beta$  állapotú) epoxy anyagú ragasztók. Az alkatrészek rögzítésén kívül semmilyen más funkciójuk nincs ezért villamosan szigetelőnek tekinthetők és a hővezetésük is igen gyenge. A technológia lépései a következők: a ragasztóból apró pöttyöket viszünk fel az SMD alkatrész alá a kontaktusfelületek közé, a mérettől függően akár többet is (4.85. ábra). Majd megtörténik az alkatrész beültetés és a ragasztó hőkezelése (kikeményítése).



4.85. ábra: SMD ragasztók technológiája

A ragasztó felvitel két módon történhet (4.86. ábra), amelyek a stencilnyomatás (ritkábban alkalmazzák) és a diszpenzálás. Az SMD ragasztó stencil nyomtatására a megfelelő beállítások után bármelyik iparban használatos stencilnyomtató berendezés képes. A diszpenzálás szintén elvégezhető egy átalagos beültető géppel, amit elláttak erre a célra szolgáló fejjel. Ami a diszpenzálás javára billenti a mérleget, az az, hogy kevés alkatrész esetén nem éri meg a lassabb stencilnyomatás alkalmazása, valamint az, hogy a stencil elválasztás a ragadós állagú paszta miatt problémákat okozhat. A diszpenzálás legfőbb problémája a megismételhetőség. A ragasztó

pöttyök mérete nagyban változhat ugyanazon gépbeállítások mellett is a tubusban lévő paszta mennyiségétől és állagától függően. Ezért a diszpenzálás utáni szemrevételezéses ellenőrzés mindenképpen javasolt. A felviteli eljárásnak megfelelően készítenek nyomtatható és diszpenzálható SMD ragasztókat, az előbbit téglyes még az utóbbit tubusos kiszerezésben (4.86. ábra).

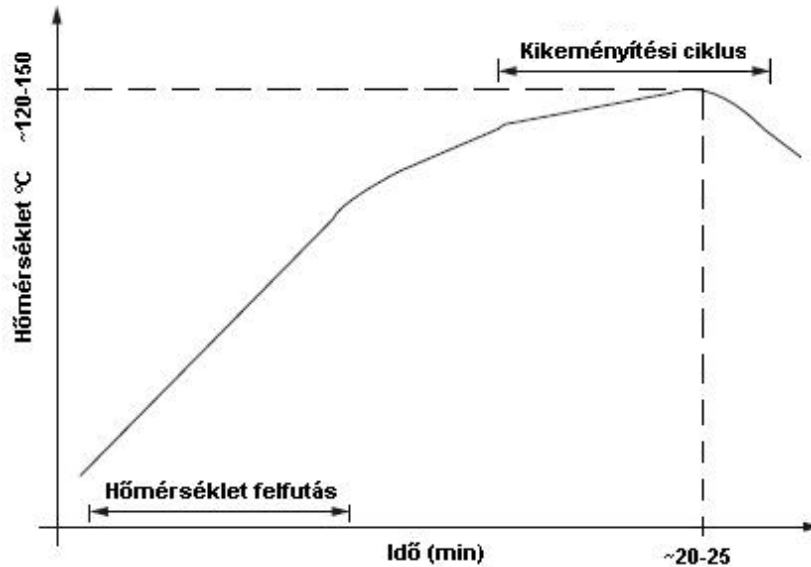


4.86. ábra: Tubusos kiszerezésű SMD ragasztó

A ragasztó pöttyök méretének beállításánál vigyázni kell arra, hogy az még az alkatrész beültetése után sem érhet a kontaktusfelületekhez (a pötty távolsága a kontaktusfelülettől  $> 200\mu\text{m}$ ). Valamint, hogy a pötty mérete, azaz a ragasztó mennyisége elégséges legyen az alkatrész megtartásához.

Az alkatrészek beültetése után az áramkör a ragasztót kikeményítő kemencébe kerül. Erre a célra általában az újraömlesztő kemencékénél egyszerűbb, kisebb méretű és teljesítményű infra-sugaras fűtésű kemencéket alkalmazunk. Itt az infra-sugaras fűtés előző fejezetben tárgyalt inhomogenitása nem okoz problémát, mivel a célunk ebben az esetben egy adott hőmérsékleti szint adott ideig történő meghaladása. A kikeményítés természetesen elvégezhető újraömlesztő kemencében is azonban ez gazdaságossági szempontból (ár és fogyasztás) nem javasolt.

A 4.87. ábrán egy tipikus SMD kikeményítő hőprofil látható (IPC 7530). Az SMD ragasztók térhálósodása (kikeményedése) általában akkor történik meg, ha legalább 10–15 percet töltenek  $100\text{--}110\text{ }^\circ\text{C}$  fölött. Ez azonban gyártónként és ragasztó típusonként nagyban változhat, ezért tartalmaz az ábrán 4.87. ábralátható hőprofil csak körülbelüli értékeket.



4.87. ábra: Tipikus SMD ragasztó kikeményítő hőprofil

A ragasztók általában nem érzékenyek sem a túlfűtésre, sem a gyors le vagy felfűtésre, sőt általánosan igaz, hogy magasabb hőmérsékleten gyorsabban térhálósodnak. Ezért sem lényeges annyira a hőmérséklet szabályozás vagy a fűtés egyenletessége ennél a technológiánál.

#### 4.4.2. Speciális hullámformák

Ahogy azt a hullámforrasztással foglalkozó fejezetben is tárgyaltuk, az SMD alkatrészek hullámforrasztásának elterjedése új típusú hullámformák megjelenéséhez vezetett. Egyszerűen belátható, hogy a furatszerelt alkatrészeknél jóval több, sűrűbb és apróbb kivezetéssel ellátott SMD alkatrészek hullámforrasztása kezdetben kihívás elé állította az ezzel foglalkozó mérnököket. Problémát jelentett, hogy az alkatrész tokok átkerültek a forrasztási felületre, ami egy eddig nem ismert hibatípus kialakulásához vezetett az ún. árnyékolás jelenségéhez. Az árnyékolás során az alkatrész test eltakarja az alkatrész kivezetéseket a forraszhullám elől, amikre ezáltal nem jut elegendő forrasz (vagy semennyi sem) és nyitott kötések keletkeznek.

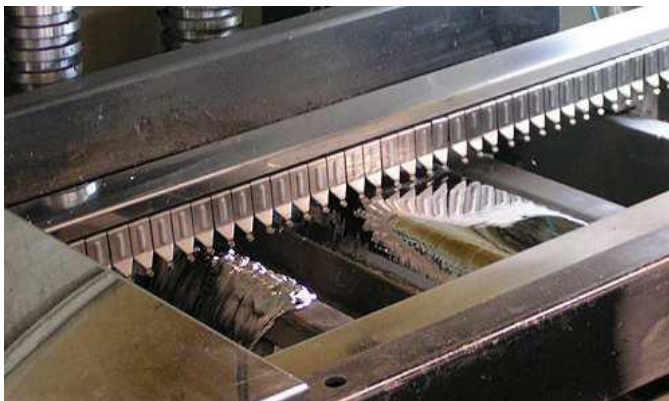
A fenti problémák kiküszöbölése céljából és a forrasztási minőség javítása okán hamar megjelentek a kettős hullámmal ellátott forrasztó berendezések (4.88. ábra). Az „omega” hullámot ún. „chip” hullámra cserélték, amely egy az omega hullámnál jóval kisebb felületű, ugyanakkor turbulens hullám, amely azt jelenti, hogy a hullámban levegő befújásával bugyogást idéznek elő. A chip hullámban az áramlási sebesség – az omega hullámhoz hasonlóan – jóval nagyobb, mint a szállítószalag sebessége.



4.88. ábra: Kettős hullámú forrasztó berendezés

A chip hullám feladata, hogy az összes kontaktus felületre biztosítsa az elégséges és inkább még annál is több forrasz mennyiséget. A hullám bugyogása (4.88. ábra) elősegíti, hogy az olvadt forrasz minden irányból találkozzon a forrasztandó felületekkel és így elkerüljük a fent tárgyalt „árnyékolást”.

A „chip” hullámot követi az ún. „lambda” hullám, amely egy laminárisan áramló a chip hullámnál jóval nagyobb felületű, a szállítószalag sebességével közel azonos sebességű hullám. A lambda hullám feladata, hogy eltávolítsa a chip hullám által felvitt fölösleges forraszmennyiséget és megszüntesse az esetleges zárlatokat. Lényeges, hogy a két hullámnak olyan távolságban kell elhelyezkedni egymástól, hogy a kettőjük közötti úton a forrasz még ne szilárduljon meg. A 4.89. ábrán a kettős hullámot létrehozó fűvóka rendszer látható.



a.) Kettős hullám



b.) A kettős hullámot létrehozó fűvókarendszer

4.89. ábra: Kettős hullámú berendezés:

#### 4.4.3. Hőprofilmérés

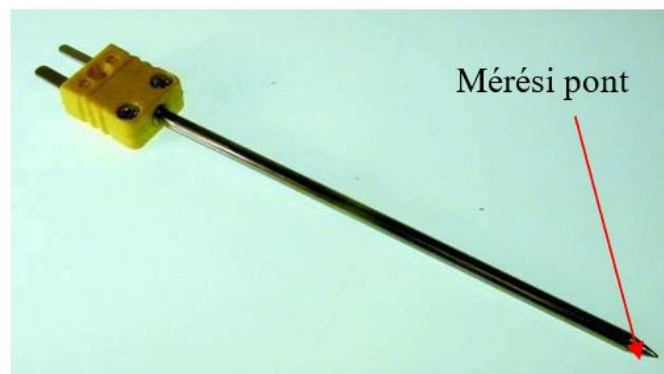
A hullámforrasztó berendezésen beállított forrasztási paramétereket természetesen hőprofilméréssel ebben az esetben is ellenőrizni kell. Hullámforrasztásnál erre két megoldást is



alkalmaznak, amelyek a szimpla (a már bemutatott) hőprofilmérés, valamint az ún. wave rider” módszer.

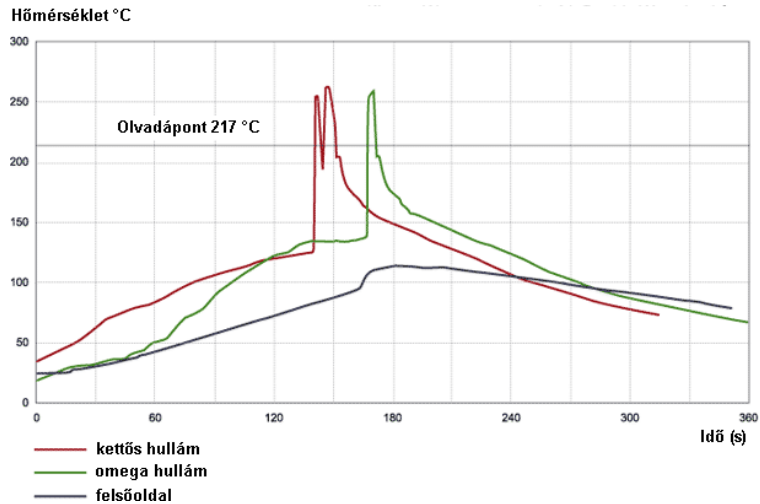
A szimpla hőprofil mérés esetén először itt is hőprofilmérő tesztpanel preparálásra van szükség, de az újraömllesztéses forrasztással ellentétben itt nem szokás sok pontban mérni a hőprofil csak kettőben, amelyek közül egy a felsőoldalon egy pedig az alsó oldalon helyezkedik el. Ettől csak akkor térünk el, ha az alsó vagy felső oldalon hőre érzékeny alkatrész helyezkedik el. A felsőoldalon való mérés célja, hogy elkerüljük azt, hogy a korábban például újraömllesztéses forrasztással szerelt alkatrészeink kötése megömljenek és esetlegesen az alkatrészek elmozduljanak a hullámforrasztás során.

Az alsóoldalon történő mérés célja, hogy ellenőrizzük az előfűtést, valamint a forrasztási hőmérsékletet. Az alsóoldali méréshez ún. keményköpenyes hőelemeket szokás használni, ugyanis a hőelem találkozik az olvadt forrasszal (ami villamosan vezető) és ha a hőelem két szára a mérési pontnál hamarabb is találkozik a forrasszal, akkor meghamisítja a mérést. Ezt pl. úgy érhető el, hogy a hőelemek teljes felülete egy acél köpenybe burkolják, ezzel elszeparálva azt a forraszanyagtól (4.90. ábra).



4.90. ábra: Keményköpenyes hőelem

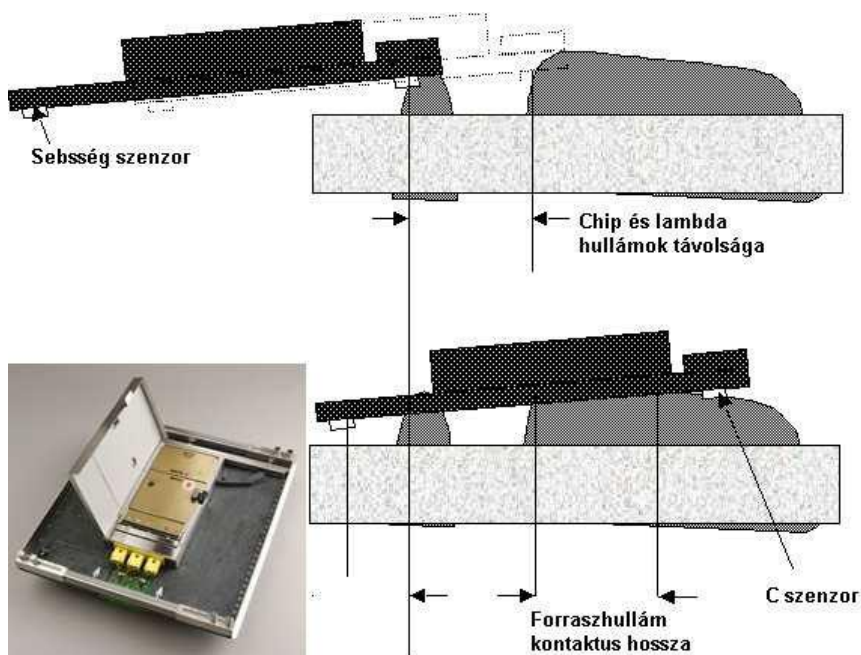




4.91. ábra: A hullámforrasztás hőprofiljai

A fenti ábra ólommentes hullámforrasztás esetén mért hőprofilokat mutat. Az ábrán megfigyelhetjük a kettős és a szimpla omega hullámos berendezés hőprofilja közötti különbséget. Látható, hogy a szenzor hőmérséklete a két hullám között az olvadáspont alá esett, azonban az áramkör hőtehetlensége jóval nagyobb a szenzorénál, ezért a kötések esetében ettől nem kell tartanunk. Figyeljük meg, hogy az olvadt forrasz  $\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os volt, amikor a kontaktus felületekkel érintkezett, valamint, hogy a felső oldali hőmérséklet alig haladta meg a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot.

Hullámforrasztás esetén a hőprofilmérés másik eszköze az ún. „wave rider”, ami tulajdonképpen nem más, mint egy szenzorokkal felszerelt hőálló műanyag lemez, amely a felső oldalán tartalmazza az adatrögzítő áramkört is (4.92. ábra). Előnye a sebességmérésen kívül, hogy nincs szükség hőprofilmérő tesztpanel preparálására.

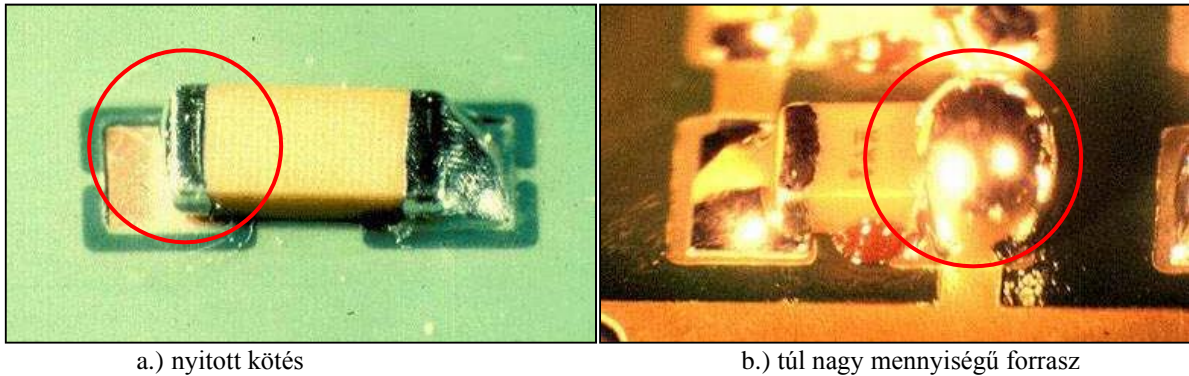


4.92. ábra: Wave rider rendszer

#### 4.4.4. A hullámforrasztás hibajelenségei, és azok kiküszöbölési lehetőségei:

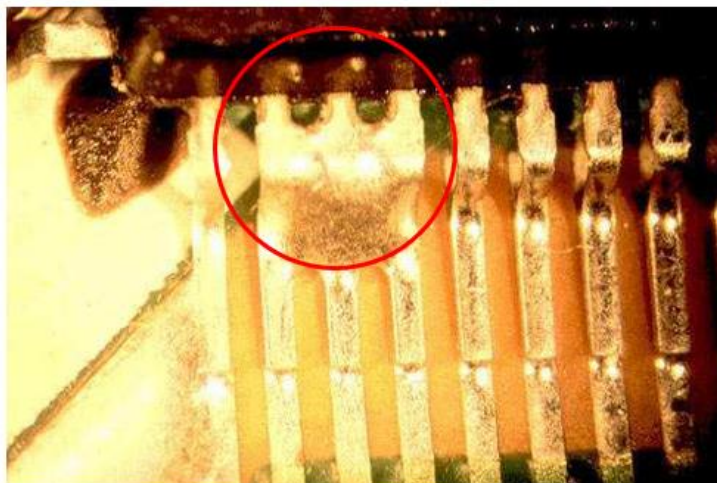
Ahogy a furatszerelt alkatrészek hullámforrasztásánál, úgy a felületszerelt alkatrészek hullámforrasztásánál is számolnunk kell forrasztási hibajelenségek felbukkanásával, a következőkben ezeket vesszük sorra.

A nem megfelelő forraszmennyiség a felületszerelt alkatrészek hullámforrasztása esetén is egy tipikus hiba.



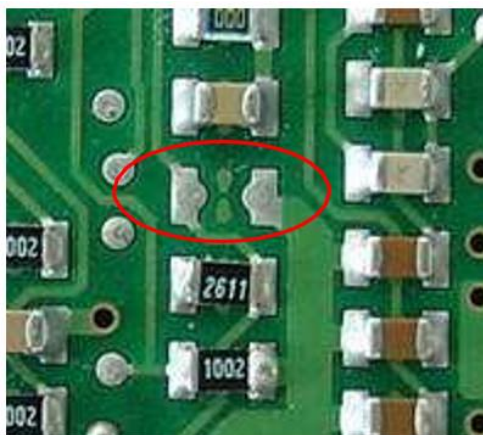
4.93. ábra: Nem megfelelő forraszmennyiség

A hullámforrasztó berendezés forrasztási paramétereinek beállításánál már tárgyaltuk, hogy a hullámmagasság leginkább a felvitt forrasz mennyiségére van hatással, ami alacsony hullámmagasság esetén nyitott kötéseket (4.93. ábra), míg a túl magas hullámmagasság esetén a túl sok forrasz felvitelét eredményezheti (4.93. ábra), ami zárlatképződését idézheti elő (4.94. ábra). A nem megfelelő forrasz mennyiség egy további okozója lehet a már többször tárgyalt elégtelen nedvesítés is.



4.94. ábra: Hullámforrasztás során keletkezett zárlat

Gyakori probléma az SMD alkatrészek hullámforrasztása során, hogy a hullám lesöpri a forrasztandó alkatrészt az árkorról (4.95. ábra) ami hiányzó alkatrészeket okoz. A hiba oka a nem megfelelő mennyiségű SMD ragasztó felvitele vagy az elégtelen kikeményítés lehet. Szélsőséges esetekben előfordulhat, hogy a túl magasra állított forrasztótölcsérébe akad az el az alkatrész és egyszerűen letörik.



4.95. ábra: Hiányzó alkatrész

Forraszgolyó képződés a furatszerelt alkatrészek hullámforrasztásánál tárgyalt mechanizmus alapján természetesen a felületszerelt alkatrészek hullámforrasztása során is tipikus hiba.

Túl magas forrasztó hőmérséklet: A túl magas forrasztó hőmérséklet (forrasztókád hőmérséklet), az alkatrészek sérüléséhez vezethet (4.96. ábra) illetve a hullámforrasztás esetén két további hibajelenség előidézője is lehet, amelyek a forrasztásgátló lakk sérülése, valamint a túl magas felsőoldali hőmérséklet.

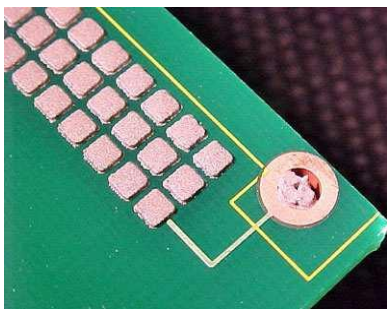


4.96. ábra: Hullámforrasztás során elmozdult alkatrész

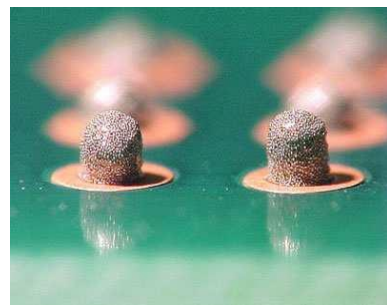
A túl magas felsőoldali hőmérséklet (különösen a túl magas előfűtési hőmérséklettel kombinálva) előidézheti a felsőoldalon található kisebb méretű chip alkatrészek kötéseinek újbóli megömlését (megolvadását). Mivel a hullámforrasztás számottevő mechanikai behatással jár (rázkódás), a felsőoldalon újból megömlött kötéssel rendelkező alkatrészek elmozdulhatnak a helyükről (4.96. ábra).

## 4.5. PIN-IN-PASTE TECHNOLOGIA

A napjainkban elkészített hordozókon már csak kevés furatszerelt alkatrész van. Ezek az alkatrészek tipikusan csatlakozók, nagyobb kondenzátorok, induktivitások, tekercsek. Ugyanakkor a felületszerelt alkatrészek szerelésére rendkívül gyors és pontos gyártósorok léteznek a nagyobb elektronikai gyárakban, ezért rendkívül előnyös az a technológia, amelynél a furatszerelt és felületszerelt alkatrészeket együtt, újraömlesztéses forrasztással lehet beforrasztani. Ez a Pin-in-Paste (továbbiakban PIP) technológia. A PIP technológiához sokkal nagyobb mennyiségű forraszpasztára van szükség, mint a felületszerelt alkatrészekhez, mert itt a felvitt paszta térfogatának elégnek kell lennie a forraszalak létrehozására az áramköri lemez mindkét oldalán és a furat kitöltésére is. Ezért a PIP technológia kulcsfontosságú kérdése a megfelelő mennyiségű forraszpaszta felvitele a hordozóra, melyet a pontos stenciltervezéssel lehet elérni. Ezért az elektronikai gyártás során rendkívül fontos a paszta furatkitöltésének mérése, melyet optikai mikroszkóppal nem lehet elvégezni, a szerelőlemez takarása miatt. Röntgenes mikroszkópiával azonban tudunk furatkitöltést vizsgálni, mert a szerelőlemezen áthaladnak a röntgensugarak, így az nem takarja a furatban lévő pasztát. A PIP technológiánál a furatszerelt alkatrészeket is újraömlesztéses forrasztással szerelik a szerelőlemezre, tehát a technológia lépései megegyeznek az újraömlesztéses forrasztási technológia lépéseivel (4.97. ábra). Először a pasztafelvitel történik, ezután az alkatrészek elhelyezése történik a furatba, majd a forraszpaszta megömlesztése újraömlesztő kemencében.

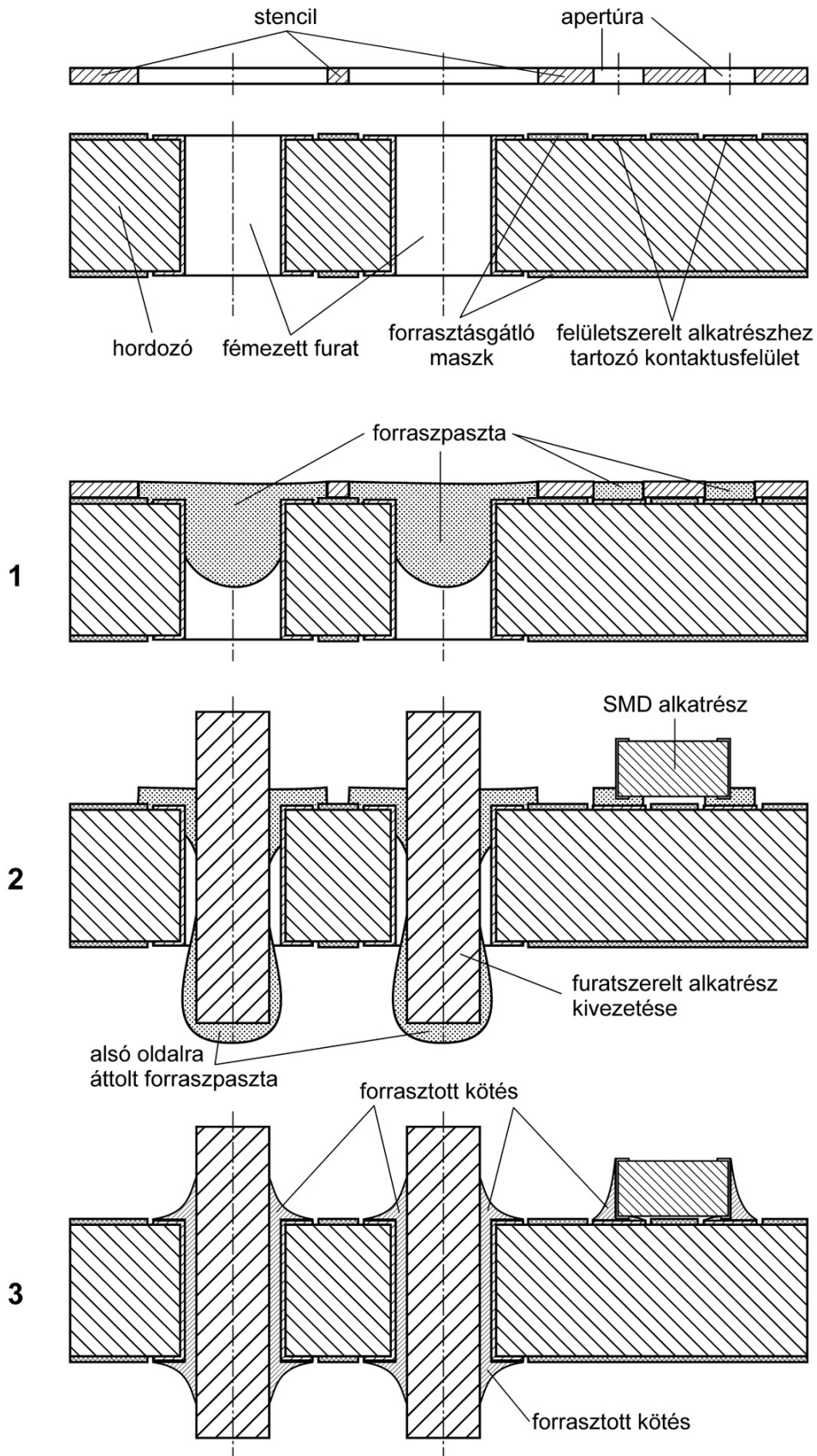


a.) forraszpaszta felülnézetben



b.) alsó oldalra áttolt paszta

4.97. ábra: A furatszerelt alkatrészhez felvitt forraszpaszta:



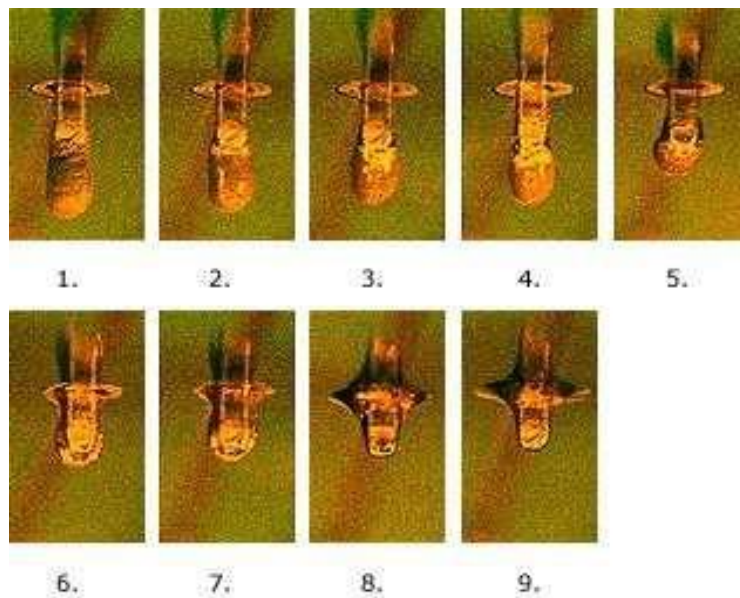
4.98. ábra: PIP technológia lépései:

1. pasztafelvitel stencilnyomtatással, 2. SM és TH alkatrészek együttes beültetése, 3. újraömlésztéses forrasztás



#### 4.5.1. A forrasztási folyamat fázisai

Már a forraszfém olvadási hőmérsékletének elérése előtt a folyasztószer megfolyik, az egyes forraszcsempék közelebb kerülnek egymáshoz (4.99. ábra). Ez a "gyufafej" matt felületén látszik (4.99. ábra 1.). A forraszcsempék sűrűsödése folytatódik, a koncentráció a lábak csúcsán egyre jelentősebb (4.99. ábra 2., 3.). A lábak csúcsa eléri az olvadási hőmérsékletet, a forraszfém ebben a tartományban már megolvadt (4.99. 4.). A forraszfém a lábak csúcsának oldalára húzódik (nedvesítés) a furat irányában és eközben a még nem teljesen megolvadt maradékot magával húzza (4.99. ábra 5.). A forraszfém teljesen megolvadt és a furat irányába nedvesít (4.99. ábra 6.). A forraszfém nagy része eléri a furatfémzés alját (4.99. ábra 7.) itt kapilláris erőhatás lép fel, a forraszfém a furatba emelkedik, és ezenkívül kialakul a jellemző forraszcsempeszusz (4.99. ábra 8.,9.).



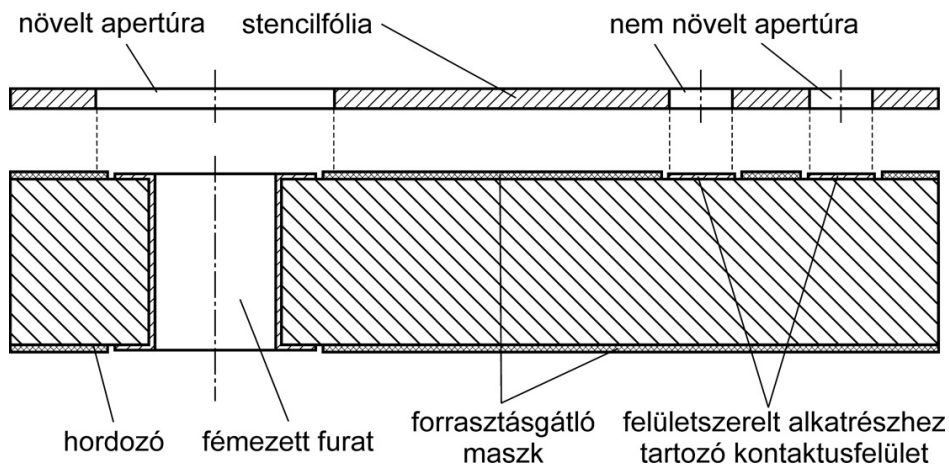
4.99. ábra: A PIP forrasztás folyamata

#### 4.5.2. Stenciltervezés PIP technológiához

Mint láthattuk, a PIP technológiánál a jó minőségű forrasztott kötés létrehozásához nagy mennyiségű paszta szükséges. Ahhoz, hogy elegendő mennyiségű pasztát tudjunk nyomtatni a hordozóra, az apertúra méretét vagy a stencilfólia vastagságát kell növelni. Három stencil típust használnak a PIP technológia esetén. A legegyszerűbb esetben olyan stencilt alkalmaznak, ahol csak az apertúrákat növelik meg, a lépcsős stencilt, melynél lépcsőket alkalmaznak és a két-stenciles megoldást, ahol két lépésben történik a forraszpaszta felvitele.

#### 4.5.2.1. Túlnyomtatás apertúra növeléssel

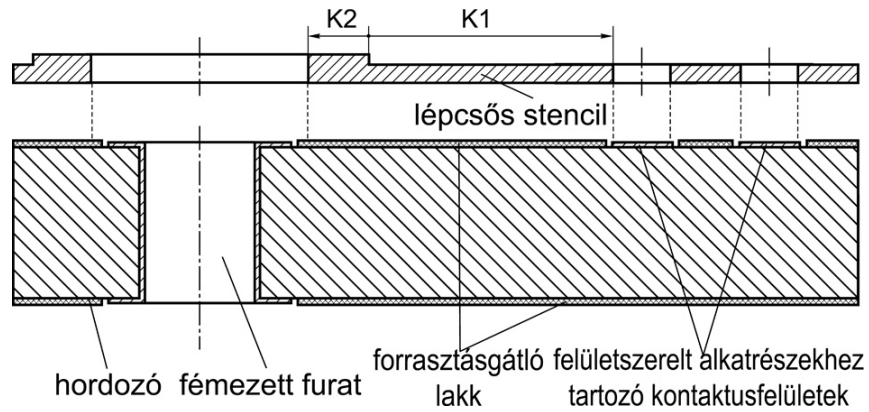
Amennyiben a furatszerelt alkatrésznek nagy a raszter-osztása, nagy hely van a forrasztási felületek között, akkor általában elegendő mennyiségű pasztát tudunk felvinni csupán a stencil-apertúra méretének növelésével (4.100. ábra).



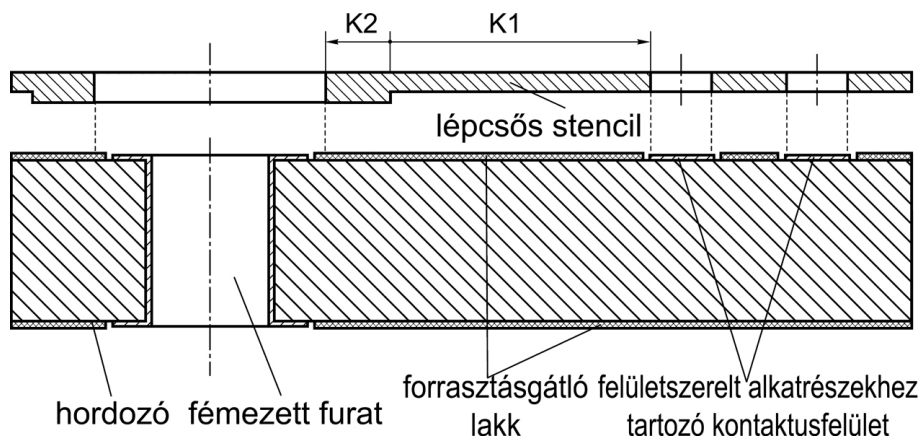
4.100. ábra: Megnövelt apertúrájú stencil keresztmetszeti képe

#### 4.5.2.2. Lépcsős stencil

Azokban az esetekben, amikor a szerelőlemez vastagabb, vagy a furat nagyobb, esetleg az alkatrész kivezetés átmérők kisebbek, több forraszpasztát kell felvinni a szerelőlemezre. Ekkor használhatjuk a lépcsős stencilt, mely segítségével elegendő paszta mennyiséget vihetünk fel a furatszerelt alkatrészek beforrasztásához, elkerülve a nagy paszta mennyiség miatt kialakuló rövidzárat az SMT alkatrészek esetén. Lépcsős stencil esetén a szabályoknak megfelelően kell megválasztani a K1, K2 távolságokat. K2, az apertúra szélétől a lépcső éléig terjed, ennek az értéke általában 0,65 mm körüli érték lehet. K1 a lépcső élétől a legközelebbi apertúra széléig tart. Az értéke az általános tervezési útmutatók szerint 0,9 mm, 0,025 mm-es lépcső magasság mellett. A K1 értékét úgy kell megválasztani, hogy 36-szorosa legyen a lépcső magasságnak. Magát a lépcsős elrendezést a stencil kés felőli oldalán (4.101. ábra) és a stencil kontaktus felőli oldalán (4.102. ábra) is ki lehet alakítani.



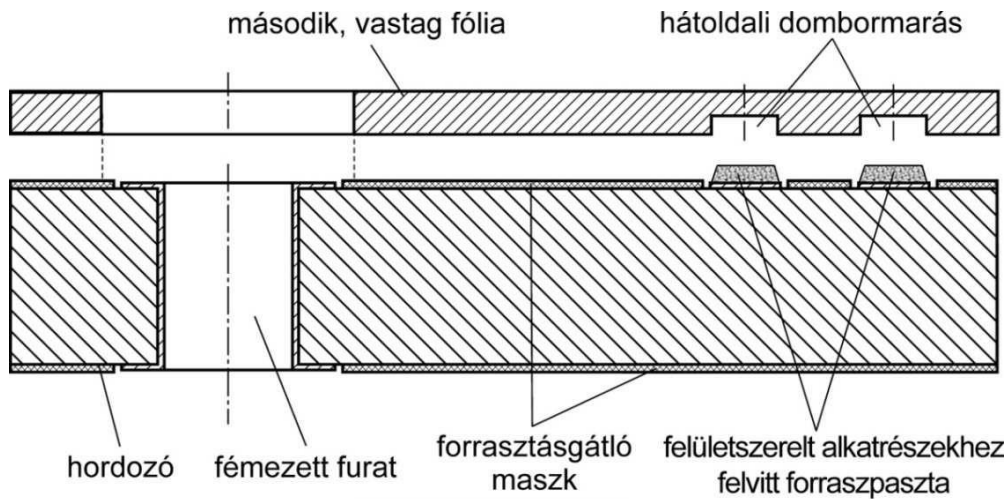
4.101. ábra: Lépcsős elrendezés kialakítása kés felőli oldalról



4.102. ábra: Lépcsős elrendezés kialakítása kontaktus felőli oldalról

#### 4.5.2.3. Forraszpaszta felvitel két lépésben

Az előbb ismertetett stencil típusokat nem lehet akkor használni, amikor a furatszerelt alkatrész kis átmérőjű kivezetései nagy átmérőjű furatokba kerülnek, vagy az alkatrészek egymáshoz közel helyezkednek el. Ez a folyamat két részből áll. Először egy normál, felületszerelt alkatrészekhez használt stencil segítségével viszik fel a pasztát az SMT kontaktus felületre. Ezután egy másik, általában 0,4-0,7 mm vastagságú stencillel felviszik a furatokra is a pasztát. (Amennyiben a stencil vastagsága meghaladja a 0,5 mm-t, lézeres vágású, elektropolírozott apertúrákra van szükség a megfelelő paszta elengedés miatt). A második stencil kontaktus felőli oldalán legalább 0,25 mm mélységű bemarást végeznek pontosan ott, ahol már az első lépés során a felületszerelt alkatrészek kontaktus felületére felvittük a pasztát, azért hogy a második stencil ne kenje el azt (4.103. ábra).



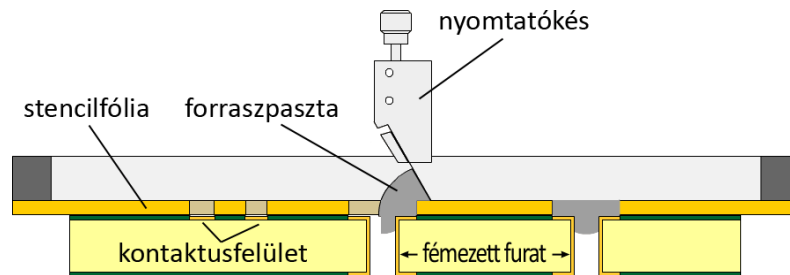
4.103. ábra: Második stencil keresztmetszete kétlépéses paszta felvitelnél

Így tehát a PIP technológia lépései megegyeznek az újraömlésztéses forrasztási technológia lépéseivel. Először a pasztafelvitel történik, ami elvégezhető cseppadagolással és stencilnyomtatással egyaránt. Ezután az alkatrészek elhelyezése történik a furatba, majd az alkatrészek elhelyezése után következik a forraszpasztá megömlésztése például újraömlésztő kemencében. Az IPC-610 szabvány a PIP technológiánál is előírja a 75%-os furatkitöltést, illetve a 330°-os forrszem nedvesítést; a különbség a hullámforrasztáshoz képest, hogy itt a furatkitöltést a másik oldal felőle kell értelmezni, mert a PIP technológiánál a szerelőlemez felső oldala felől nedvesít a forrasz az alsó oldal felé. Ellentétben a hullámforrasztással, ahol a forrasz az alsó oldal felől nedvesít a felső oldal irányába.

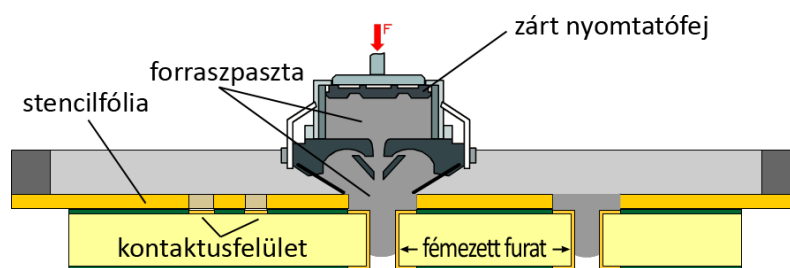
#### 4.5.3. Zárt nyomtatófejes pasztafelvitel

Mint ahogy azt már az előző fejezetekben említettük, a Pin-in-paste technológia kulcskérdése a megfelelő mennyiségű forraszpasztá felvitele, a furatok megfelelő mértékű kitöltése forraszpasztával. A vastag szerelőlemezek (>2mm), és kis átmérőjű furatok (<1mm) esetében a hagyományos fémkéses nyomtatási eljárással meglehetősen nehézkes a furatok kitöltése. Ezért alkalmazzák némely esetben a PIP technológiához a zárt nyomtatófejes pasztafelviteli eljárást. A zárt nyomtatófejek esetében a forraszpasztá a nyomtatófej tetején lévő tartályban helyezkedik el. A nyomtatás közben a forraszpasztát nyomással kényszerítjük a nyomtatófej alsó részén keresztül a stencil apertúráiba. A zárt nyomtatófej alsó részén elhelyezkedik még két terelőlap is, annak érdekében, hogy a forraszpasztá csak a stencil apertúráiba kerüljön, ne kenődjön szét a stencil teljes területén.

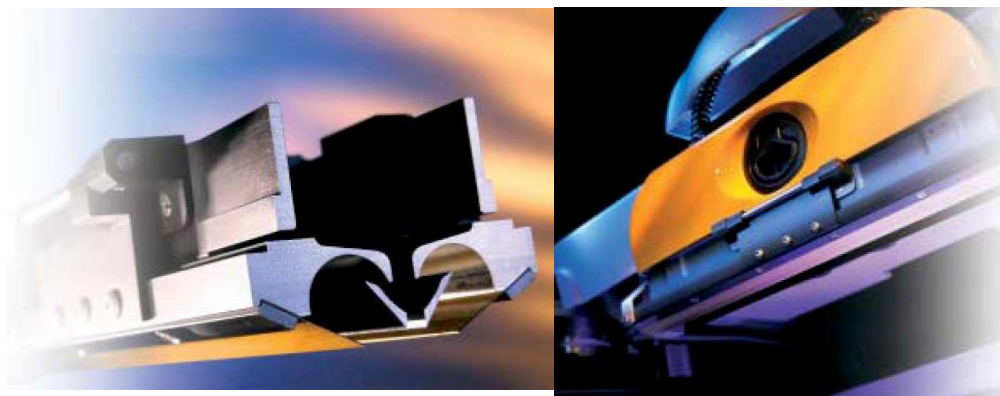
A stencilnyomtatás közben alkalmazott nyomásnak köszönhetően a PIP technológia esetében jobb furatkitöltés érhető el. Viszont a zárt nyomtatófejek hátránya, hogy a forraszpaszta könnyen beleszárad a nyomtatófejbe, és a PIP technológiánál a nagyobb méretű furatok esetén túlzott lehet a furatkitöltés. Alkalmazása akkor ajánlott, ha kisméretű, de egyforma átmérőjű furatok vannak a szerelőlemezen.



4.104. ábra: Fémkéses stencilnyomtatás



4.105. ábra: Zárt fejes stencilnyomtatás



a.)

b.)

4.106. ábra: DEK Proflow nyomtatófej

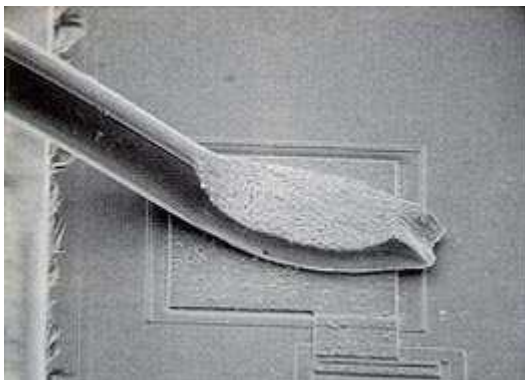
## 4.6. A CHIP-ON-BOARD TECHNOLÓGIA, A HUZALKÖTÉSEK

A huzalkötések (*wire bonding*) fontos szerepet játszanak a tokozott IC-n belüli, chip és nyomtatott huzalozású lemez közötti, illetve egyéb (pl. hibrid) alkalmazások esetében az elektromos kapcsolat kialakításában. A huzalkötési eljárások közös jellemzője, hogy az összekötni kívánt felületeken és a huzalon kívül harmadik anyag részvétele nem szükséges; ez a tulajdonsága különíti el a forrasztási eljárásoktól. Megjegyzendő, hogy a magyar terminológiában leggyakrabban huzalkötési eljárásokról beszélünk, de egyre inkább elterjed az angol *welding* kifejezés átvételével a huzalhegesztés kifejezés is.

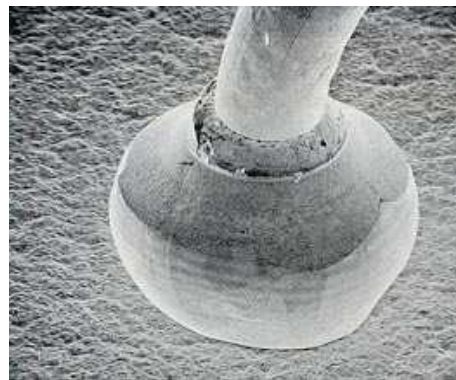
A huzalkötés során a fémeket alkotó atomok és molekulák közötti ún. kohéziós erőket használjuk fel a kontaktus kialakítására, ezért a huzalkötések a *kohéziós kötések* csoportjába tartoznak. (Ennek ellentéte a *diffúziós kötés*, amely során az alapanyagokkal közel sem egyező kémiai összetételű anyaggal hozzák létre a kötést – ilyen pl. a forrasztás.)

A huzalvég geometriáját tekintve a kötés kétféle lehet:

- ékes kötés, amelynek alakját a kötést végző szerszám alakja határozza meg,
- golyós kötés, amely alakját az olvadék állapotú huzalanyag felületi feszültsége határozza meg.



a.) ékes kötés



b.) golyós kötés

4.107. ábra: Huzalvégek elektronmikroszkópikus képei

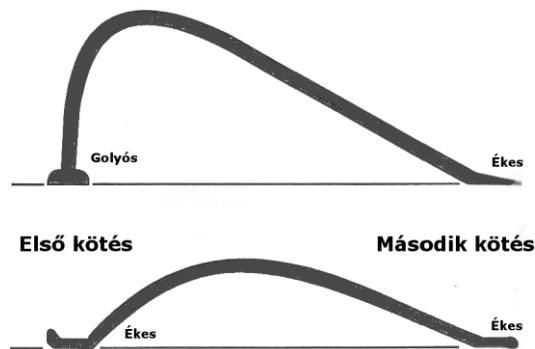


Az elektronikai technológiában alkalmazott huzalkötéseknek alapvetően három típusa van, amelyek főbb ismérveit az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

4.1. táblázat: Huzalkötési technológiák összehasonlítása

Huzalkötés típusa	Kötés mechanizmusa	Huzal anyaga	Alkalmazott hőmérséklet	Kötés alakja	Összenyomás ereje
Termo-kompressziós	Olvasztás, összenyomás	Au	300-500 °C, vagy olvadáspont	ékes/golyós	15-25 gramm
Ultrahangos	Összenyomás, ultrahangos vibráció	Al, Au	szoba-hőmérséklet (25 °C)	ékes	0,5-2,5 gramm
Termo-szonikus	Emelt hőmérséklet, összenyomás, ultrahangos vibráció	Au	100-150 °C	ékes/golyós	0,5-2,5 gramm

A huzalok két végének alakját tekintve azonban két csoportba oszthatók a huzalkötések: az első a golyó-ék, a másik az ék-ék típusú kötés. Az előbbi az emelt hőmérsékletű eljárásokra jellemző, míg az utóbbi a tisztán ultrahangos technikára.



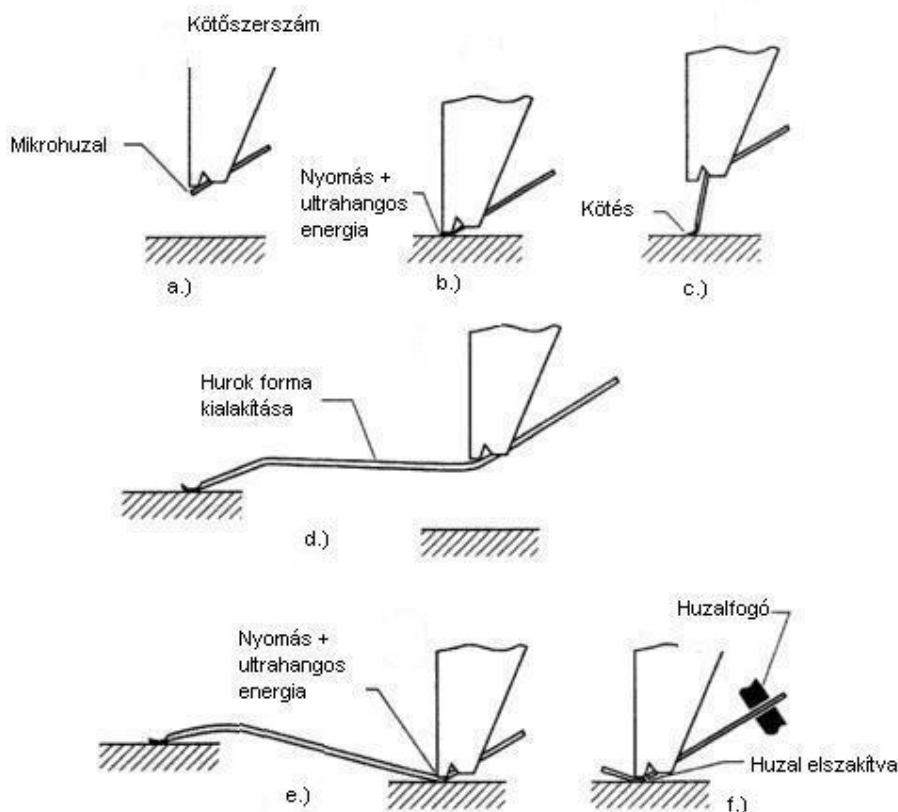
4.108. ábra: Golyós és ékes huzalkötések sematikus ábrája

#### 4.6.1. Ékes kötés

Az ultrahangos vagy ékes kötés a kötőszerszám alakjáról kapta a nevét, a szakirodalom ék-ék (wedge-wedge) kötésként is gyakran hivatkozik rá. A kötőszerszámként használt ék szerepe a megfelelő kontaktus kialakítása. Az ultrahangos kötésnél az egymással szembeni felületek

transzverzális (azaz a haladási irányra merőlegesen) rezgőmozgásának segítségével, súrlódás közben jön létre a kötés. Emiatt viszonylag kis nyomóerőt kell kifejteni, hiszen ezzel a kis nyomóerővel is el tudjuk érni az oxidréteg feltörését és a felületek egyenetlenségeinek megszüntetését. A termokompressziós kötéssel szemben itt semmiféle hőközlés nem történik.

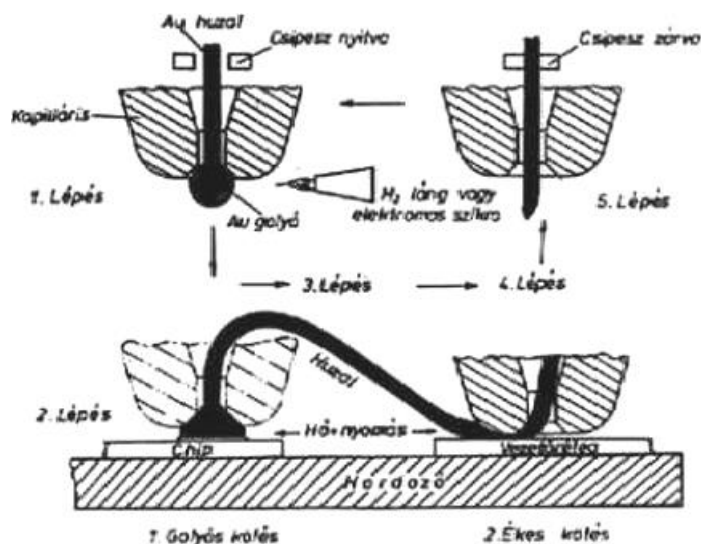
Habár sokfajta fém köthető ezzel a technológiával (alumínium, arany, réz, nikkel, palládium stb.), leginkább mégis az alumínium mikrovezeték kötésére alkalmazzák. A vezeték a vízszintes kötési síkhoz képest  $3-60^\circ$  szögben adagolják az éken kialakított furaton keresztül. Első lépésben a szerszámot az első kontaktusfelület fölé irányítják (4.109. ábra/a.). Az éket az integrált áramkör kontaktusfelületéhez közelítve, a vezeték a kontaktusfelülethez nyomják, majd az éket a kontaktusfelületre merőleges irányban ultrahanggal rezgetve kötés létesítenek (4.109. ábra/b). Az ultrahangos rezgés hatására a felületi oxidréteg feltörik, atomi erők lépnek működésbe, ezáltal a két anyag „összetapad”. A szerszámot ezt követően felemelik (4.109. ábra/c), a következő kötésnek megfelelő irányba mozgatják, és így mozgásának pályája a kívánt hurokformának megfelelő alakot ír le (4.109. ábra/d). A hordozó oldalán az ék ismét leereszkedik, és létrejön a második kötés (4.109. ábra/e). A vezetékfogó zárásával lehet a vezeték elszakítani (4.109. ábra/f). Mivel a vezeték kötése vízszintesesen történik, a kötés irányfüggő, ezáltal a vezetékcsatlakoztatási szabadság korlátozott.



4.109. ábra: Ékes vezeték kötés lépései ultrahanggal

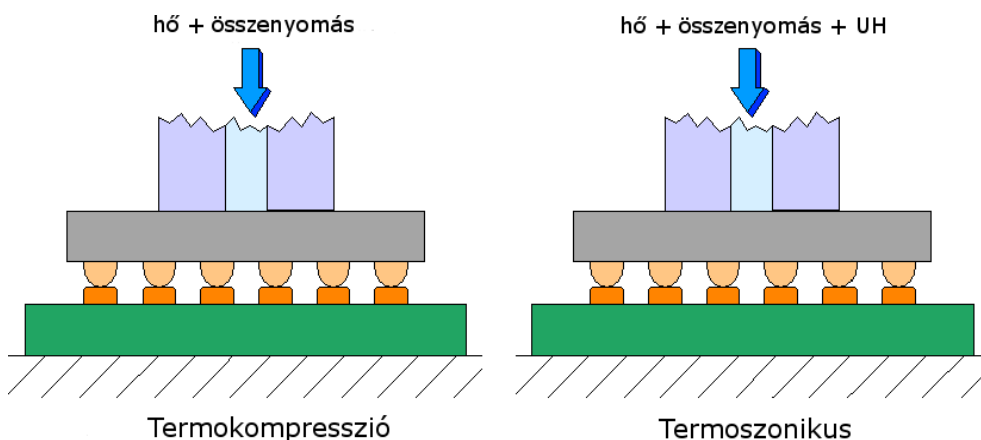
#### 4.6.2. Golyós kötés

A golyós kötés során a mikrohuzal végén kis „golyót” (ball) kell kialakítani egy kapillárison keresztül. Ezt finom hidrogén lánggal, vagy szikra kisüléssel végzik, és formálják a golyót a kapillárison áttolt mikrohuzal végén. Mikor a golyó már készen van, kontaktusba kell hozni a felülettel, amit hegeszteni akarunk. Ez úgy történik, hogy leeresztjük a kapillárist – ami tartja a huzalt a golyóval a végén - a felületig, és a kontaktus után megfelelő nyomással/erővel rajta tarjuk a felületen, amire hegeszteni akarunk. Az ultrahangos energiával ezután véglegesítik a kötést.



4.110. ábra: Golyós kötés készítésének lépései

Érdemes megjegyezni, hogy a termoszonikus, és a termokompressziós eljárás nem csupán huzalkötési eljárás lehet. Ilyen módszerrel beültethető olyan IC is, amelynek a kötési felületei a nyomtatott huzalozású lemez felé néznek (*flip-chip*). Ilyenkor a chipet tartó eszköz a teljes chipet melegíti, és ultrahang alkalmazásával (termoszonikus), vagy anélkül (termokompressziós) jön létre a kötés.



4.111. ábra: Flip-chipek beültetése termokompressziós és termoszonikus módszerrel

*A huzalkötések tipikus alkalmazási területei a következők:*

Tokon belül:

- BGA-k,
- QFP-k,
- bizonyos esetekben CSP-k is.

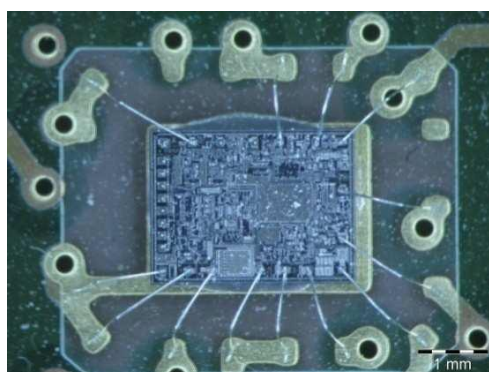
Tokon kívül:

- chip-on-board,
- egyéb, speciális alkalmazások.

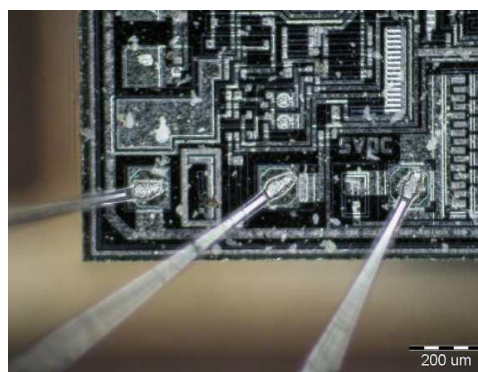
Az alkalmazott huzalok paraméterei:

- A huzalkötés során az első és legfontosabb paraméter a huzal anyaga, amit lényegében kizárólag az határoz meg, hogy milyen a huzalkötés módszere. A huzal anyaga leggyakrabban arany vagy alumínium.
- A másik fontos paraméter a huzal átmérője. A huzalkötés elhelyezkedésétől és céljától függően találkozhatunk ún. mikrohuzalokkal – például tokon belül  $15\ \mu\text{m}$  (0,6 mil) a legkisebb alkalmazott huzalátmérő, nagyáramú alkalmazások esetében több száz, általában  $200\text{--}500\ \mu\text{m}$  is lehet.

A következő optikai mikroszkópos kép egy  $33\ \mu\text{m}$  (1,3 mil) átmérőjű huzallal, ultrahangos módszerrel bekötött chip-et mutat:



a.) a teljes chip



b.) három huzalkötés az IC-n

4.112. ábra: Ultrahangos huzalkötés chip-on-board konstrukció esetében:

A chip-on-board (COB) megnevezés olyan technológiára utal, amely során a félvezető chipet közvetlenül a szerelőlemezre ültetik be és rögzítik, és az elektromos összeköttetést huzalkötések hozzák létre a chip és a szerelőlemez között.

A chip rögzítésének két alapvető módja van:

- Ragasztás, amely során felvitt ragasztó anyagot (pl. szerves oldószerű polimert) felviszik, majd aktiválják hővel vagy UV fényel. Fontos itt megemlíteni, hogy a ragasztó oldószere a kikeményítés során eltávozik, amely lerakódhat a chip felszínén, ezzel nehezítve a huzalkötések kialakítását.
- Forrasztás (vagy eutektikus rögzítés). Ez inkább nagy teljesítményű alkalmazásoknál jellemző, ahol a hővezetés kiemelkedő fontosságú. Tipikus forrasztanyagok az 80Au20Sn, 98Au2Si, 92.5Pb2.5Ag5In, 97,5Pb1.5Ag1Sn, 95Pb5Sn, 88Au12Ge, vagy a 98Au2Si. Az alkalmazott forraszt anyagát az ára, az olvadáspontja és az elérendő hővezetés mértéke határozza meg.

A chip beültetése után következik a huzalkötések kialakítása, melynek folyamatát már korábban megismertettük. A chip-on-board szerkezet esetében ügyelni kell arra, hogy a második kötés kerüljön az IC-re, hiszen az ultrahangos (ék-ék) kötés közben a huzalon keletkezik egy rövid túlnyúlás, amely a nagy rajzolatsűrűségű területre (IC-re) kerülve akár rövidzárat is kialakíthat. A golyós kötés esetében a jobban pozicionálható golyó miatt éppen fordítva van: a golyó (azaz az első kötés) kerül az IC-re, a második a szerelőlemezre.

*A chip-on-board előnyei:*

A chip-on-board technológia előnyei elsősorban a funkciók IC-re történő integrálásából fakadnak. Ezek a következők:

- kisebb helyigény,
- nagyszorozatú gyártás esetében alacsonyabb költség,
- nagyobb megbízhatóság (elsősorban a forrasztott kötések alacsonyabb száma miatt),
- rövidebb piacra kerülési idő,
- a kapcsolási rajz kevésbé visszafejthető.

*Alkalmazható tisztítási eljárások huzalkötés előtt.*

A huzalkötés előtt ipari körülmények között többféle eljárást is alkalmazhatnak a felületek tisztítására. Ezek közül a leggyakrabban előfordulók a következők:

- Plazmatisztítás: Hagyományos porlasztás során a mosással, ultrahangos tisztítással előkészített hordozókat a vákuumrendszerbe helyezés és elő vákuumra történő leszívás

után ún. „glimmelésnek” vetik alá, melynek az a szerepe, hogy a hordozó felületén adszorbeált víz és levegő molekulákat eltávolítsa, és ezzel a majd rápárolgatott réteg tapadását javítsa. A plazmatisztítás legszélesebb körű alkalmazása a félvezető technológiában van, ahol a szilícium szelet tisztítására alkalmazzák.

- UV besugárzás + ózon : Általában 184,9 és 253,7 nm-es UV fényt használnak. Az ilyen UV fény az oxigén molekulák és szerves vegyületek kötéseit felszakítja, ezáltal elősegítve az oxidációjukat, mely során a szerves szennyeződésekől CO<sub>2</sub> és vízgőz keletkezik, amelyek gázként eltávoznak a felületről.
- vegyszeres tisztítás: Az áramköröket erre speciálisan kifejlesztett vegyi oldatokkal tisztítják, majd az öblítési fázisban ioncserélt vízzel öblítik. Az elsődleges szennyeződés, amit az eljárás során eltávolítanak, az nem az oxid-réteg, hanem a megégett folyasztozser. Ha túl sokáig volt magas hőfokon, előfordulhat, hogy nem tudják eltávolítani.
- mechanikai felületmódosítás: Bizonyos alkalmazások esetében (pl. vastagréteg) a kötendő felület érdessége túl nagy a megfelelő fémes kötés kialakításához. Ezen mechanikai csiszolással, karcolással segíthetünk.

#### **4.6.3. Kötési felületek szennyeződései**

A legfontosabb tényező a kontaktusfelület oxidmentessége. Ugyan a berendezések képesek áttörni egy bizonyos vastagságig az oxidréteget, és megfelelő kötést kialakítani, de ez csak nagyon vékony oxidrétegre igaz. Egy bizonyos vastagság után már nem hozható létre a kötés.

A másik fontos tényező a kontaktusfelületek szennyeződései, amik szintén befolyásolják a rajtuk elkészítendő huzalkötések minőségét. A legfontosabb szennyező típusok a következők: halogének: származhatnak plazmamarásból, epoxy-ból, oldószerekből fémes szennyeződések a bevonatokból: tallium, ólom, króm, réz, nikkel kén: csomagolóanyagokból, levegőből, ragasztókból szerves eredetű szennyeződések: epoxy-ból, fotorezisztből, külső forrásból (zsírfoltok, haj, szőr, hámdarabok) korróziót okozó szennyeződések: nátrium, króm, foszfor, bizmut, kadmium; nedvesség (magas páratartalom miatt), üveg, szén nem megfelelő intermetallikus réteg kialakulása. Bizonyos intermetallikus vegyületeknek nem megfelelő a tapadása. Ilyen pl. az AuAl<sub>2</sub>, amely lilás színű, innen kapta a bíborpestis (*purple plague*) nevet.

#### **4.6.4. Minősítési módszerek**

Körülbelül tíz elfogadott módszer létezik a huzalkötések minőségének ellenőrzésére, melyek

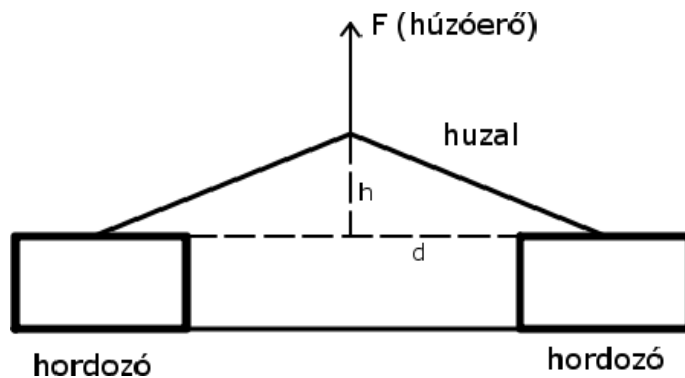


részleteit a MIL-STD-883D, illetve MIL-STD-883D szabványok tartalmazzák

#### 4.6.4.1. A destruktív húzó (pull) teszt, vagy szakítóerő-teszt

A szakítóerőt a kezdetek óta használják a huzalkötések minősítésére. A kötés során kialakított hurkot destruktív (roncsolásos) és nem destruktív módon is alávéthetik húzási tesztnak. Gyakrabban alkalmazott azonban a destruktív teszt, mert ez könnyen kivitelezhető és jól jellemzi a kötéseket. A mintavételezés általában szűrőpróbaszerű.

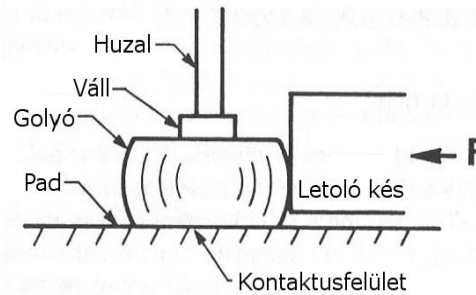
A módszer elve rendkívül egyszerű. A huzalkötést alkotó hurok közepe alá helyezünk egy kampót, melyet állandó, kis sebességgel felfelé húzunk. Ez először kifeszíti a huzalt, majd egy bizonyos húzóerőt elérve el- vagy felszakíthatja azt. A kritikus, szakadást előidéző erőt mérjük egy erre alkalmas műszerrel. A kötés minőségét egyszerre jellemzi a szakítóerő nagysága, valamint az, hogy a huzal melyik része szakadt el. Szigorúan véve a kötés minőségéről nem hordoz információt az az eset, amikor a huzal a közepén szakad, hiszen maga a kötés ilyenkor nem éri el a szétváláshoz szükséges erőt. Ha a két kontaktusfelület egy szintben van, a vizsgálatnál teljesen szimmetrikus a két kötés és az erőhatások. Ez a szimmetrikus vizsgálat egyben a MIL STD 883 szabvány 2011-es módszere is, ezt láthatjuk a következő ábrán.



4.113. ábra: Szimmetrikus szakítóerő-vizsgálat erődiagramja

#### 4.6.4.2. Letoló (shear) teszt

Hasonló a pull teszthez, itt azonban a kontaktusfelülettel párhuzamos erőt fejtünk ki a kötésre. Ezzel a módszerrel kizárólag a kötés minőségéről kapunk információt, ezért bizonyos értelemben könnyebb a kiértékelése, mint a pull teszteké. Nehézséget okoz azonban, hogy ékes kötések esetében kis huzalátmérőnél nehézkes a kivitelezése, hiszen a letoló szerszámot megfelelően kell pozícionálni.



4.114. ábra: Letoló teszt golyós kötés esetében

#### 4.6.4.3. Az ultrahangos huzalkötés előnyei

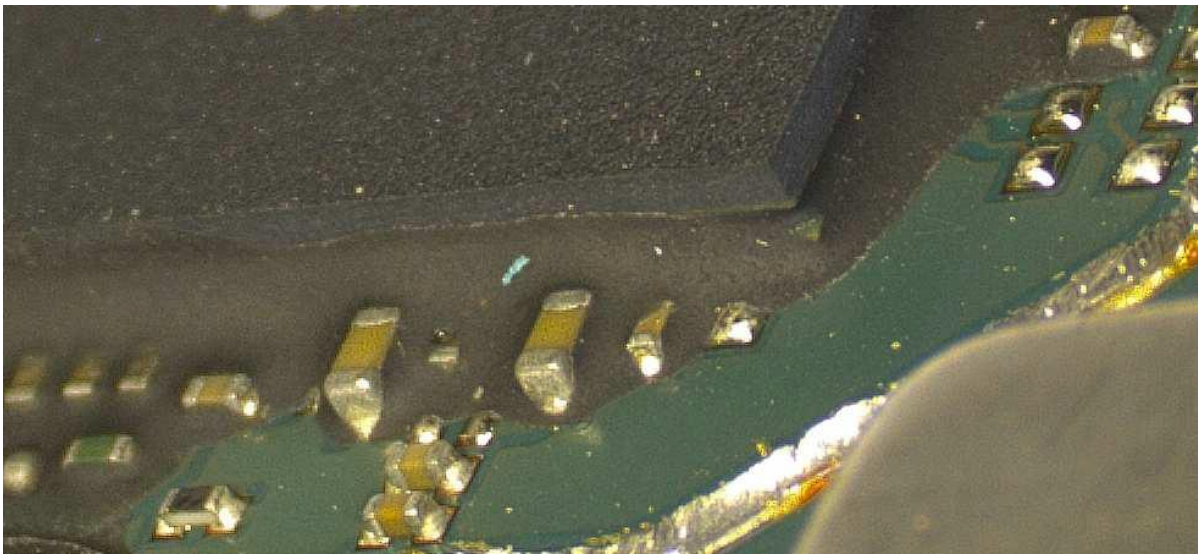
Az ultrahangos kötési technológiánál nem ömlik meg a fém, nem kerül folyadékfázisba, így nem léphet fel termikus károsodás: nem jön létre újrakristályosodás, zsugorodási repedés, rideggé válás. A kötés szobahőmérsékleten megy végbe ezért hőre érzékeny anyagok kötése is végezhető segítségével. Emellett a fém megfolyását kialakító nyomás is viszonylag kicsi. E kötésfajta éppen ezért, kiválóan alkalmas félvezető eszközök integrált áramköri tokozásán belüli kötésének készítésére, vastagréteg-technikával készülő multichip moduloknál (például teljesítmény-áramkörök), valamint egyéb használata megengedett olyan alkalmazásoknál, ahol csak alacsonyabb hőmérséklet.

#### 4.6.4.4. Huzalkötés hátrányai

A szilícium IC-k esetében a chipek kerületén kell, hogy elhelyezkedjenek a kivezetések, ezzel minimalizálva a rövidzár kialakulásának esélyét a huzalkötés közben. Ennek következtében a huzalkötés legkisebb elérhető mérete korlátozza az ilyen módszerrel bekötött chipek kivezetéseinek számát. Általában azt mondhatjuk, hogy 500-nél több huzalkötés csak nagyon nehezen kivitelezhető. Ezen túl hátránya a huzalkötési módszereknek, hogy számos tényező kivezetés esetében befolyásolja a kötés minőségét. Emiatt a technológia optimalizálása és a gyártási folyamat közben tartása a huzalkötések esetében kiemelkedően fontos.

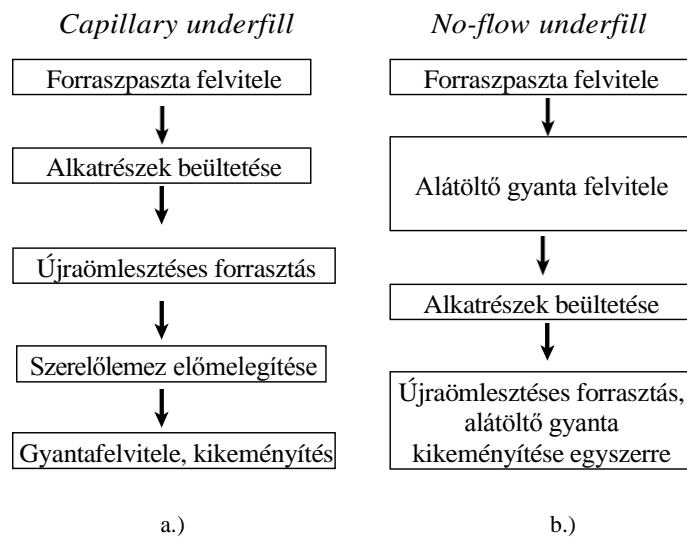
#### 4.7. BGA ALÁTÖLTÉS (BGA UNDERFILL)

A mai elektronikai áramkörökön talán a legérzékenyebb alkatrészek a BGA tokozású integrált áramkörök. Ezeknél az áramköröknél gyakori a forrasztott kötések törése, akár a forrasztásnál a tok és a szerelőlemez hőtágulási együtthatójának különbsége miatt (CTE mismatch), akár az áramkör élettartama során bekövetkező mechanikai feszültségek miatt. A nagy megbízhatósági igényű áramköröknél szokásos a BGA tokok alátöltése epoxi-gyantával, mely egyrészt csökkenti a tok és a szerelőlemez közötti hőtágulási együttható különbséget, másrészt mechanikailag is védi a forrasztott kötések.



4.115. ábra: Kikeményített alátöltő gyanta az IC körül

Az alátöltő epoxigyantáknak alapvetően két típusuk létezik, az egyik típus esetén a tok forrasztása után hordják fel az alátöltő gyantát, mely a kapilláris erő hatására tölti ki után a BGA tok és a szerelőlemez közötti rést (capillary underfill). A kitöltés után az alátöltő epoxi-gyantát hő közlésével keményítik ki (4.115. ábra). A másik típusnál az alátöltő gyantát már a tok beültetése előtt felviszik, majd abba ültetik bele a BGA tokot (4.116. ábra), és a forrasztásnál a reflow hőprofil hatására a gyanta is kikeményedik (no-flow underfill).



4.116. ábra: A BGA tokok alátöltés folyamata

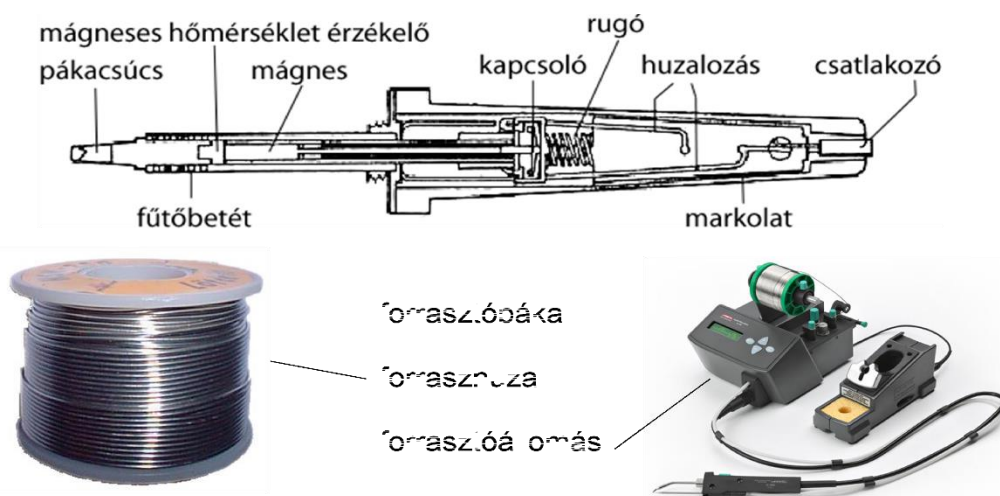
a.) off-line, (capillary underfill), b.) no-flow underfill

A BGA tokok alátöltését a ragasztófelvitelhez alkalmazott cseppadagolókkal (dispenserek), vagy ahhoz hasonló berendezésekkel végzik. A folyamat után vizuálisan ellenőrizni kell az alátöltés minőségét, különös figyelemmel arra, hogy nem került-e a tok felületére alátöltő gyanta. Az alátöltés megfelelő, ha az alátöltő anyag a BGA tok minden oldalánál és a sarkoknál is látszik, a gyanta nem folyt rá más alkatrészekre, és nem jelent meg a szerelőlemez másik oldalán.

## 5. KÉZI FORRASZTÁS

### 5.1. KÉZI FORRASZTÁS ESZKÖZEI, FORRASZTÓÁLLOMÁSOK

A kézi forrasztás jelentősége a korszerű szerelőiparban csökkent, de a közeljövőben is számos alkalmazási területe marad. Kézi forrasztást két fő esetben alkalmazunk: kisebb darabszámú, vagy egyedi áramkör megépítésénél, illetve forrasztások javításánál. A kézi forrasztás lényege, hogy a forrasztópákával közvetlenül melegítjük fel a forrasztandó alkatrészt és az alatta elhelyezkedő forrszemet, és forrasztóanyaggal kötést biztosítunk. A 2006. júliusában megjelent környezetvédelmi direktíva miatt meg kell különböztetnünk az ólmos és az ólommentes forrasztást. Az ólommentes kézi forrasztás technológián változtatni kellett ugyanúgy, mint a reflow- és hullámforrasztás során, mivel ólommentes forrasztásnál emelkedik a forrasztási hőmérséklet. Kézi forrasztás esetén sem kell új berendezést tervezni, mivel itt is csak a csúcshőmérsékletet kell megemelni és a korszerű berendezések erre teljes mértékben alkalmasak. Lényeges, hogy a javításokhoz és az utómunkákhoz is azonos, ólmos vagy ólommentes forrasztóanyagokat használjunk, mint amit az eredeti forrasztásnál is használtak.



5.1. ábra: A forrasztópáka felépítése, és a forrasztáshoz szükséges eszközök

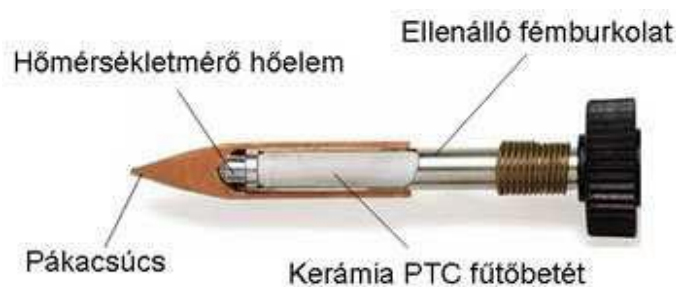
#### 5.1.1. Forrasztóállomás típusok

Az elektronikai technológiában a forrasztópákákat működésük szerint három csoportra oszthatjuk:

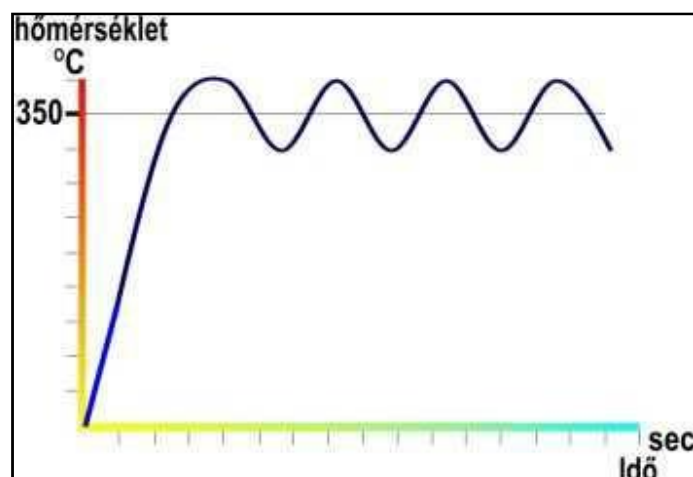
- hőmérséklet szabályozós forrasztópákák,
- nagyfrekvenciás forrasztópákák,

- hőszállító csövek elvén működő forrasztópákák.

A *hőmérséklet szabályzós* forrasztópákákban (5.2. ábra) hőelemmel mérik a csúcs hőmérsékletét, és ez alapján szabályozzák a fűtőszál hőmérsékletét. Ezen pákák működését alapvetően meghatározza, hogy a fűtőtest addig fűti a pákahegyet, amíg a hőmérséklet-érzékelő nem jelzi, hogy a hegy elérte az üzemi hőfokot. Ekkor áll le a fűtés, a pákahegy hőfoka végül az üzemi hőfok fölött éri el a maximumot, majd a hődisszipáció, és a forrasztási munka hatására egyre jobban lehűl. A hőmérséklet-érzékelő a csökkenő hőmérsékletet észlelve visszakapcsolja a fűtést és a ciklus kezdődik előlről. Ez által a hőmérsékletben hiszterézis alakul ki (5.3. ábra), amely ugyan minden gyártmányra egyedileg jellemző, de gyakorlatilag szinuszhoz hasonló görbe, amely elég széles hőmérséklet tartományok között leng. Ez a hagyományos forrasztás esetén, főleg a kevésbé hőérzékeny alkatrészeknél jó eredményt adott, de az ólommentes forrasztásnál már problémák mutatkoztak. Az ólommentes forrasztást általában 210-230 °C környékén olvadnak, ezért tapasztalat szerint a hőmérséklet szabályzós pákákat 350 °C üzemi hőfokon kell használni, hogy elegendő hőmennyiséget adjanak le.

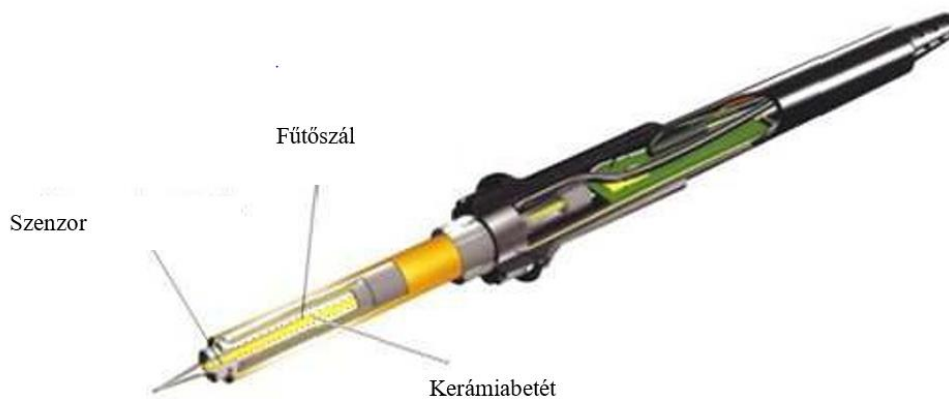


5.2. ábra: A hőmérséklet szabályzós páka sematikus felépítése

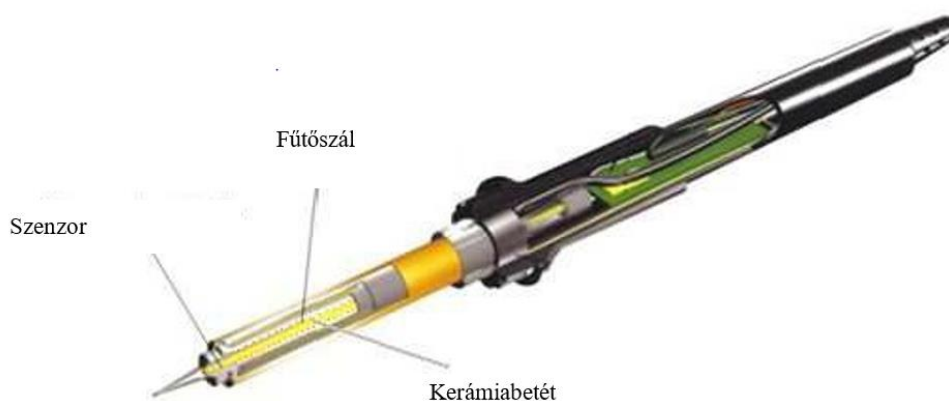


5.3. ábra: A hőmérséklet szabályzós páka tipikus hőmérséklet görbéje





5.4. ábra) a fűtőszálat kerámiabetét köré tekerik, a fűtést a fűtőáram frekvenciájának változtatásával szabályozzák. Nagyfrekvencia hatására örvényáramok lépnek fel a pákahegy külső rétegeiben, amik gyors fűtést eredményeznek. A hegy anyaga kívülről befelé melegszik, a fűtés a forrasztást végző anyagrészben történik. A pákahegy az ötvözetére (Curie-fém) jellemző üzemi hőfokon elveszti az ohmikus ellenállását, így a megmaradó induktív ellenállás nem gerjeszt örvényáramokat, azaz nincs túlfűtés. A pákahegy 10-15 másodperc alatt eléri az üzemi hőfokot és gyakorlatilag  $\pm 1,1$  °C között marad. Forrasztás esetén hőelvonás történik, aminek hatására a hegy hőmérséklete csökkenni kezd. Ekkor ismét belép az ohmikus ellenállás, és az örvényáramok hatására a fűtés, tehát az elvesztett hőmennyiség pótlása is azonnal megtörténik.

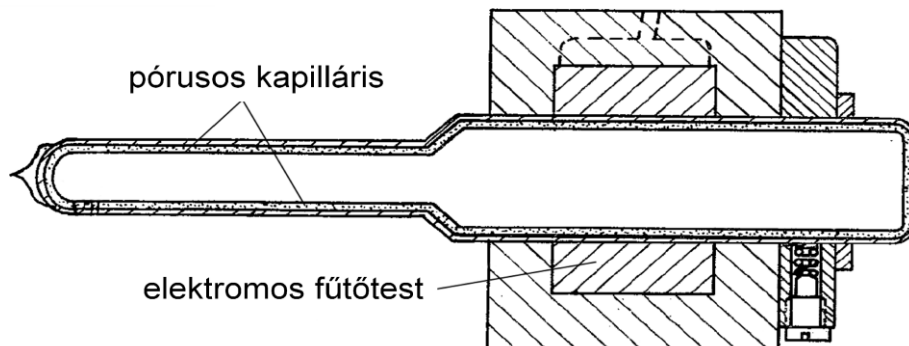


5.4. ábra: A nagyfrekvenciás forrasztópáka

A hőtárolós pákákhoz képest a nagyfrekvenciás fűtés előrelépés, de nem minden feladatnál ad kielégítő megoldást. Nagyobb hőmennyiséget igénylő forrasztásoknál a páka teljesítménye már elégtelen lehet, és a csökkenő hőmérsékletű pákahegyben fellépő örvényáramok hőtermelése már nem tudja pótolni a veszteséget.

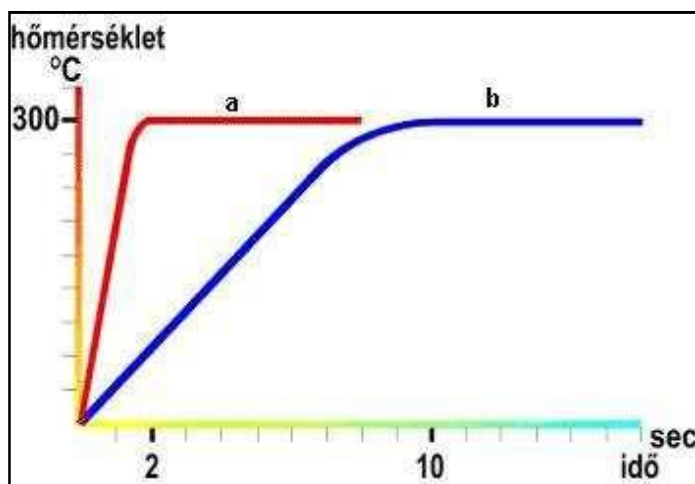
*Hőszállító csövek* elvén működő forrasztópákáknál a szabályozható árammal fűtőtestet melegítünk (5.5. ábra). A hőtranszportért felelős folyékony közeg a fűtőtestről hőenergiát vesz fel,

melynek következtében gőzzé alakul. A gőz a második fűtőtesthez (ami a pákacsúcsnál van) szállítja a hőt, ahol visszaalakul folyadékká. A fázisváltás biztosítja a hőenergiát, a folyadék a kapillárison visszaáramlik az első fűtőtesthez, és ott felmelegedve újból megindul a pákacsúcs felé.



5.5. ábra: Hőszállító csövek elvén működő forrasztópáka sematikus keresztmetszeti képe

Különlegesen gyors felfűtéssel rendelkeznek, mert 2 másodperc alatt éri el a pákahegy az üzemi hőfokot (350 °C). A fűtőelemet mikroprocesszor vezérli, figyeli a hőmérsékleti görbe alakulását, és az ívéből kiszámítja, mikor kell be- illetve kikapcsolni a fűtést, hogy minél kisebb legyen a hiszterézise. Ezzel a terhelésnél bekövetkező hőmérsékletesés kevesebb, mint a fele az egyéb megoldásokhoz képest.

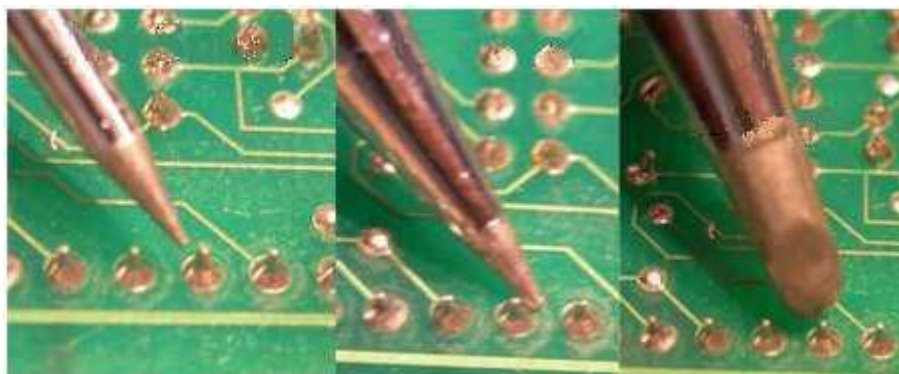


5.6. ábra: Pákafelfűtési idő: a.) folyadék hővezetéses b.) hőmérséklet szabályzós

### 5.1.2. A pákacsúcsok

A kézi forrasztáshoz két fő eszközre van szükség: a forrasztópákára és a forraszhuzalra. A forrasztópáka feladata, hogy felmelegítse, és megőmlessze a forraszhuzal végét. A kötés minőségét nagyban befolyásolja a pákacsúcs alakja és a forrasztandó felülethez csatlakozó

hőelvonó tömeg. A létező szabályozható kézi forrasztó berendezések 400-450 °C-ig állíthatók be. A pákacsúcsok célja minél rövidebb hőközlési időn belül a legjobb hőátadás a pákacsúcs és a szerelőlemez között, ezért megválasztásuk szempontjai döntően befolyásolják a kötés minőségét. A pákacsúcsot mindig a forrasztandó alkatrészek kivezetéseinek megfelelően kell megválasztani. A csúcsnak elég kicsinek kell lennie ahhoz, hogy látható maradjon a forrszem a forrasztás közben, de elég nagyoknak ahhoz, hogy a kellő mennyiségű hőt gyorsan át tudja adni (5.7. ábra). A hőkapacitás növelésével, azaz a lehető legvastagabb csúcs választásával lehet minimalizálni a csúcs hőmérsékletének csökkenését a forrasztás során. Mivel a mikroforrasztás során gyakran használnak kis rádiuszú forrasztócsúcsot, különösen nagy figyelmet kell fordítani a csúcs alakjának kiválasztására. Ha a forrasztócsúcs vastagszik a törzs felé haladva, akkor nagyobb a hőkapacitása és jobb a hővezetése, ami azt jelenti, hogy a csúcs hőmérsékletének csökkenése kisebb a forrasztás során. Különböző formájú pákacsúcsok léteznek a forrasztandó felület optimális hőátadásának érdekében (5.8. ábra).



a.) túl kicsi      b.) megfelelő      c.) túl nagy

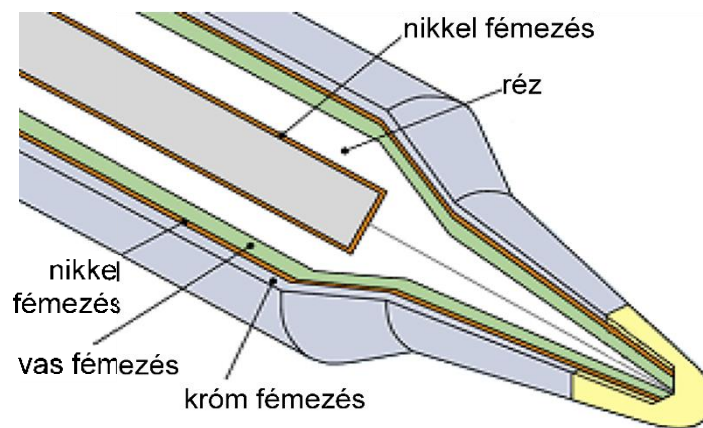
5.7. ábra: Pákafej helyes méretének meghatározása



5.8. ábra: Különböző pákacsúcs formák

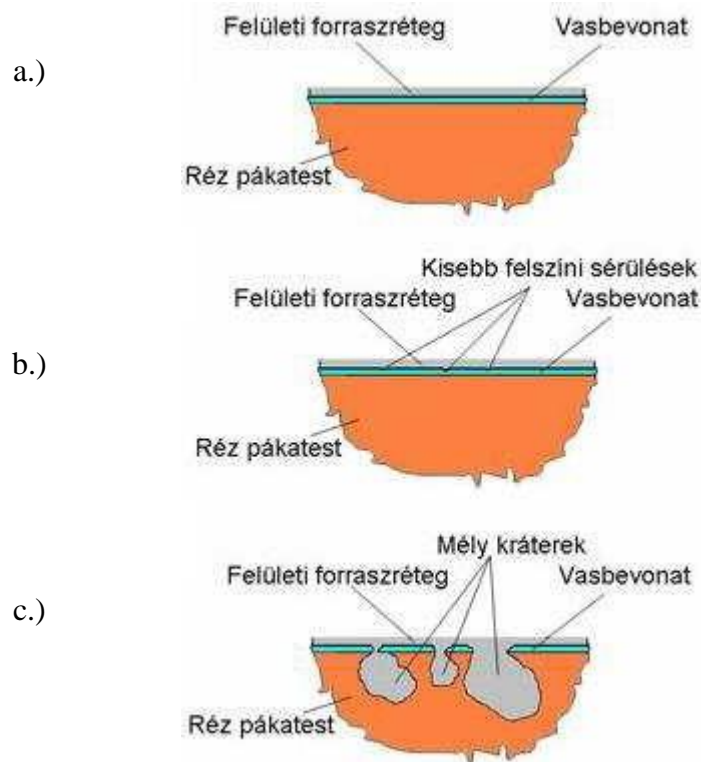
A 15 - 60 W teljesítményű forrasztópákák legtöbbször alkalmasak az elektronikai szerelvények forrasztására. A 15 wattos pákák alkalmazhatóak a kisméretű alkatrészekhez, míg 30 - 50 wattos pákák elegendőek a nagyobb alkatrészekhez. Bevonat nélküli, réz pákacsúcsot ma már elvétele, csak mágneses környezetben való forrasztáshoz használunk. A pákacsúcs kialakítását az 5.9. ábra

mutatja be.



5.9. ábra: Pákacsúcs kialakítása

Bármely forrasztófém eróziót okoz a forrasztócsúcson, bár az erózió sebessége függ a forrasztófém anyagától. A forrasztócsúcson általában rézet használnak, hogy biztosítsák a hővezetést, de hogy megakadályozzák a forrasztófém erózióját és a magas hőmérséklet miatti oxidációt, felszínét kopásálló vassal borítják. Amikor ólommentes forrasztófémet használunk, akkor a csúcs eróziójának mértéke növekszik a hagyományos forrasztócsúcson. Ez azért van, mert a forrasztófémek, melyek nem tartalmaznak ólmot, magasabb óntartalmuk miatt könnyebben reakcióba lépnek a csúcs felszínén a vassal. A használat során a pákacsúcs munkafelületén óhatatlanul keletkeznek kisebb, felületi sérülések, amelyek idővel egyre mélyülnek, majd, ha a vasbevonat átlukad, a magas óntartalmú forrasztó igen rövid idő alatt hatalmas üreget old ki a pákacsúcs réz testéből (5.10. ábra), amely így használatra alkalmatlanná válik. A pákacsúcs eróziójának mértéke növekszik, ahogyan a csúcs hőmérséklete magasabb lesz. Összehasonlítva az ólommentes forrasztófémek eróziójának mértékével, az Sn3.5Ag-0.7Cu forrasztófém esetén fellépő erózió kb. háromszoros, az Sn- 0.7Cu forrasztófém esetén fellépő erózió kb. négyszeres, amikor a csúcs hőmérséklete 400 °C.



a.) egyenletes felületi forraszréteg, b.) kisebb felszíni sérülések, c.) átlukadt vasbevonat, kioldódott réz.

5.10. ábra: A pákacsúcsok tönkrementelének folyamata:

Az oxidálódott forrasztócsúcs nem nedvesíthető, és képtelenné válik a hő eljuttatására a forrasztási ponthoz. Ez azért van, mert a forrasztócsúcs, úgy juttatja el a hőt a forrasztási pontba, hogy a csúcson lévő forrasztófémet használja a hőátadás eszközeként. Mivel a forrasztócsúcs kisebb felületen kerül kapcsolatba a forrasztási ponttal, nem tud elegendő hőt átadni a forrasztási pontnak.

A forrasztási ciklus során minden alkalommal egyszer, a tisztítás során, erősen lehűtjük a pákahegyet. Ez szinte minden forrasztóállomásnál lapos vizezett szivaccsal történik. Ez nem az optimális megoldás az Sn-Pb forrasztanyagok esetében sem, de a magasabb hőmérsékletet kívánó ólommentes forrasztásnál még komolyabb problémák merülnek fel. A tisztítás során a hegyen maradó víz magasabb hőfokon fokozott korrodálódást okoz. A nedves szivacsba törölt pákahegy hőmérséklete a víz hatására jelentősen lecsökken. A víz hőfoka kb. 20 °C körüli, a 350-400 °C körül üzemelő pákahegy hőfoka a törlés módjától függően hirtelen lecsökkenhet akár 100-150 °C-ra is. A következő forrasztáshoz a hegy hőfokának ismét fel kell melegednie az üzemi hőmérsékletre. Ez minden forrasztási ciklusban igen jelentős hőingadozást jelent, ami a pákahegy gyors elhasználódásához vezet.

A folyasztószerrel átitatott nagyon puha fémforgács használata (5.11. ábra), a vízzel átitatott



szivacs helyett, eltávolítja az oxidot a csúcs felszínéről és megakadályozza a felszín oxidációját azáltal, hogy egy forraszréteget hagy rajta. Mivel nem használnak vizet, a forrasztócsúcsot a hőmérséklet csökkenése nélkül lehet tisztítani.



5.11. ábra: Fémforgács pákatisztító

### 5.1.3. Hőlégfúvó berendezés

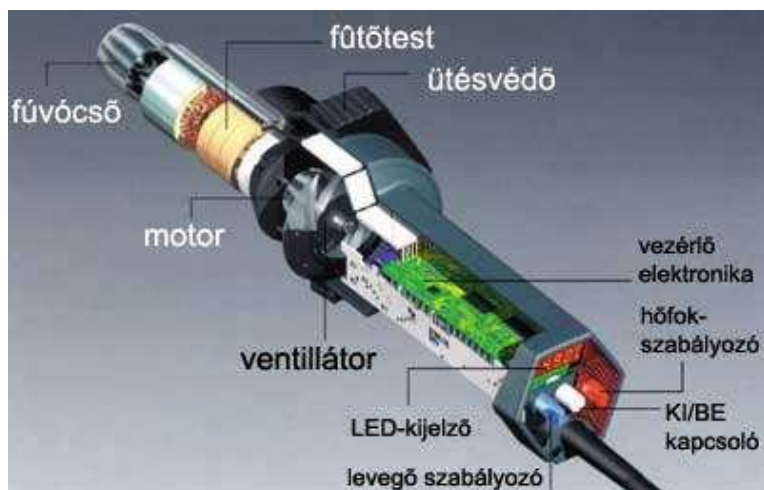
A korszerű hőlégfúvó állomások integrált megoldást kínálnak minden szükséges kézi forrasztási feladat megoldására (5.12. ábra). Bizonyos fajta állomások egyszerre tartalmazzák a forrasztópákát és a hőlégfúvót is, szabályozható hőmérséklet-leadással és utóbbi esetében szabályozható levegőfújás-erősséggel. Többféle fúvóka létezik a hőlégfúvóra a különféle felületű és méretű munkálatokhoz. Léteznek digitális és analóg kijelzős rendszerben is, némelyik típushoz még előhevítő tálca, illetve hőlégfúvó-tartó állvány is tartozik.



5.12. ábra: Hőlégfúvó berendezés



Az eszköz mind működési elvében, mind megjelenésében olyan, mint egy hajszárító. Pisztoly alakú burkolatban, motor által forgatott ventilátor, a beszívott levegőt villamos fűtőtesten hajtja át, ezáltal a kiáramló levegő forró lesz (5.13. ábra). Ebből a működési elvből látszik, hogy az ilyen villamos kéziszerszámok fő jellemzői a légszállítás, és a kiáramló levegő hőmérséklete. Ezek együttesen határozzák meg a szerszám felhasználási területeit, de használati értékét is.



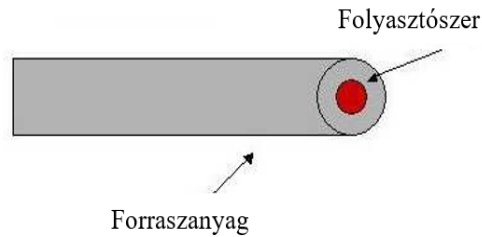
5.13. ábra: Hőlégfúvó berendezés sematikus felépítése

#### 5.1.4. Forraszanyag

A korszerű forrasztóanyagok a forrasztóanyag és folyasztószer egy huzalban egyesítve tárolják (5.14. ábra), a folyasztószer a forrasztóanyag hosszanti csatornáiba van betöltve (5.14. ábra). Ezért a felület előkészítése és a forrasztóanyag részbe juttatása nagyon rövid időkelettel szinte egyidőben valósulhat meg. Forrasztóanyag többféle átmérőben is szükséges lehet a javító munkahelyen, mivel a forrasztásra kerülő csomópontok mérete is jelentősen eltérhet. A forrasztás céljaira sokféle fém használható, alapvető követelmény azonban, hogy a forrasztóanyag az alapanyagánál kisebb olvadáspontú legyen. A alacsony olvadáspontú fémeket és ezek ötvözeteit lágyforrasztóknak, a magas olvadáspontúakat és ezek ötvözeteit keményforrasztóknak nevezzük. A lágyforrasztók közé tartozik az ón (olvadáspontja 231,9 °C) a bizmut (271,3 °C), a kadmium (320,9 °C), az ólom (327,4 °C) és a cink (419,4 °C), valamint ezek ötvözetei. A keményforrasztók az ezüst (960 °C), az arany (1063 °C) és a réz (1083 °C), valamint ötvözeteik. Az alumínium és a magnézium nagyon gyorsan oxidálódik, ezért forrasztóanyagként való alkalmazásuk csak kivételes esetben indokolt.



a.) Forraszanyag tárolt formája



b.) a forraszszul szerkezete

5.14. ábra: A forraszszul:

A választott forraszötvozet legyen hasonló, mint amit a gyártási folyamat használ, vagyis, javítsunk ón-ólom huzallal, ha azzal gyártottunk, de nincs jelentősége annak, hogy Sn63Pb37 ötvözet után Sn60Pb40-es huzalt használunk. Ólommentes esetében az ón-réz gyártási ötvözet szintén ón-réz javítóhuzalt kíván. Ha ón-ezüst-rézrel dolgoztunk, ón-ezüst-réz javítóhuzal használata indokolt, de lehet az egyik Sn95,5Ag3,8Cu0,7, a másik SAC305 Sn96,5Ag3,0Cu0,5, a gyakorlatban ez semmi jelentőséggel nem bír. Természetesen, ha a gyártmány műszaki dokumentációja szigorúan megköti az ötvözetet, akkor a javításhoz is azt kell használni. A forraszszulba töltött folyasztószer típusa, jellege, fajtája szintén összhangban kell legyen a gyártási folyamatban alkalmazott folyasztószer tulajdonságaival.

### 5.1.5. Folyasztószer

A forraszok csak tiszta, oxidmentes fémet tudnak nedvesíteni, ezért azt oxidmentesíteni kell, illetve az új oxidképződést meg kell akadályozni. Ezt a feladatot látják el a folyasztószer (fluxok), amik kémiai tisztítást végeznek a kontaktus felületén a kötés létrejötte előtt, és ezt tartják a kötés létrejötteig anélkül, hogy akadályoznák a forrasztás létrejöttét (a folyasztószer használata nem helyettesíti a felületek gondos tisztítását!). A fluxok tovább növelik a forrasztás minőségét a nedvesítés javításával is. Aktivációs idejük és hőmérsékletük nagyon fontos paraméterek. Manapság használt fluxok víz - gyanta- és alkoholbázisúak lehetnek.

A gyártók törekszenek a VOC mentes fluxok (Volatile Organic Compound - illékony szerves vegyület) használatára, mivel ezek a vegyületek károsak a környezetre, roncsolják az ózonpajzsot,

amikor forrasztás közben a szerves anyagok elpárolognak a folyasztószerből. Ennek az is az oka, hogy ezek az alkoholos folyasztószer csak nagyon magas szilárdanyag tartalom mellett tudnak kicsi hibaszázalékkal működni. Az alacsony szilárdanyag tartalom viszont már alapkövetelmény. Mindezek miatt a vízbázisú, No-Clean fluxok (amelyek esetében nem kell forrasztás után a lemezt tisztítani) léptek előtérbe, bár még van jónéhány megoldandó feladat velük kapcsolatban.

Előnyeik:

- a víz nem gyúlékony és kevésbé veszélyes, mint az alkohol,
- kevésbé párolog,
- magasabb hőmérsékletet kibír,
- környezetvédelmi szabályoknak megfelel.

Hátrányaik:

- fagyveszélyes,
- nagyobb a felületi feszültsége, mint az alkoholnak,
- több energia kell az elpárologtatásához, habként nem lehet alkalmazni.

**Rework (javítási) folyasztószer**, vagyis a huzaltölteten kívüli, további folyasztószer használatát időnként nem tudjuk elkerülni. Ilyenkor a folyékony folyasztószer felvitele ecsettel vagy cseppentővel nem szerencsés, mert túl sok hatóanyag kerül a felületre, ellenőrizhetetlenül szétfolyik, és későbbi üzemzavarok okozója is lehet. Filchegyben, vagy kis, hajlékony üvegszálas ecsetszerűségben végződő adagolótollak sokkal biztonságosabbak, de számos esetben a folyasztózsélé a legjobb megoldás, hiszen jól adagolható, nem folyik szét, segít áthidalni az egységesség (koplanaritás) kisebb eltéréseit, és nagyban elősegíti a jó hőátadást. A folyasztószer meghatározó mértékben befolyásolja a gyártmányok megbízhatóságát élettartamuk során, a korróziós hatás, a forrasztás utáni maradék felületi szigetelési ellenállás, valamint az elektrokémiai migráció elősegítésére való hajlam által.



a.) Folyasztószerrel töltött filctoll



b.) Zselés folyasztószer fecskendőben

5.15. ábra: Folyasztószer tárolási és felviteli formák:

Folyasztószer-eltávolító folyadék vagy permet használata (5.16. ábra) esetenként szükséges lehet, hogy a folyasztószer maradéka ne veszélyeztesse a termék megbízhatóságát és esztétikai megjelenését. Ügyelni kell arra, hogy egyes műanyagok, festékek és bevonatok bizonyos folyasztószer-eltávolító anyagokra érzékenyek lehetnek. Az eltávolítószerek többsége tűzveszélyes, és fokozott gondosságot igényel.



5.16. ábra: Cramolin Flux-Off folyasztószer-eltávolító spray kefécs szórófejjel

## 5.2. KÉZI FORRASZTÁS FOLYAMATA

A kézi forrasztás esetén egyszerre csak egy kötést tudunk elkészíteni a kézi szerszámok (forrasztópáka vagy hőlégfúvó) segítségével. A forrasztás előtt fontos a szerszámok előkészítése, illetve át kell gondolni, hogy milyen típusú alkatrész kerül forrasztásra. A kötés méretének függvényében kell kiválasztani a pákacsúcs méretét, valamint a forrasztóállomás teljesítményét. Túl magas hőmérsékletű, vagy túl nagy teljesítményű hőforrás tönkretelheti a forrasztandó alkatrészt és a rézhuzalozást is leégetheti a hordozóról. Túl alacsony hőmérsékletű, vagy túl kis teljesítményű páka esetén túl sokáig kell melegíteni a kötés helyét, ami rossz minőségű forrasztást eredményezhet.

A kézi forrasztás lépései:

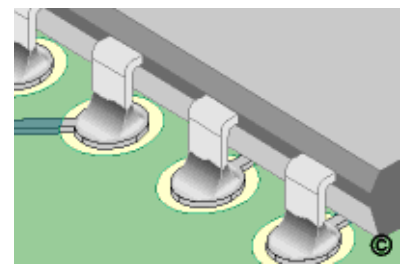
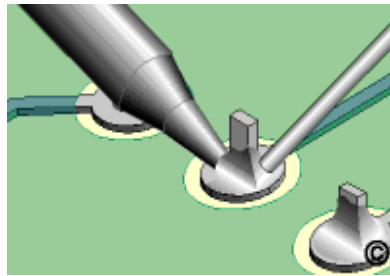
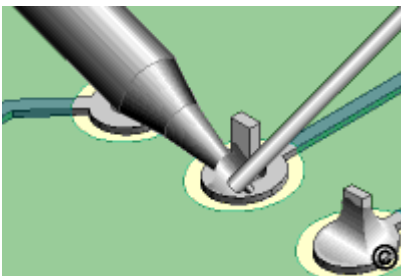
Furatszerelt alkatrészek forrasztása pákával általában az alábbi eljárás szerint történik:

- Szükség esetén a kivezetéseket hajlítjuk, az alkatrészt és a felületeket tisztítjuk.
- Az alkatrészt beültetjük a hordozó furataiba.
- Szükség esetén folyékony folyasztószert adagolunk a forrszemekre és a kivezetésekre.
- A pákacsúcsot az alkatrész-kivezetés és a forrszem találkozási pontjához érintjük, és kis mennyiségű forraszt adagolunk.
- A forraszt tovább adagoljuk a pákával ellentétes oldalon, amíg ki nem alakul a megfelelő alakú forrasztott kötés.
- Sok-kivezetős alkatrészeknél ezután az átellenes kivezetést forrasszuk meg, hogy rögzítsük az alkatrészt.
- Végül a folyasztószer maradványait eltávolítjuk.

A forrasztott kötés elkészítése után a túl hosszú alkatrész-kivezetőket le kell vágni, figyelve arra, hogy ne közvetlenül a forrasztott kötés tövében vágjuk el a kivezetést, hanem hagyni kell egy kis hosszt.



5.17. ábra: Forrszem melegítése pákával



a.) Páka érintése a felületekhez

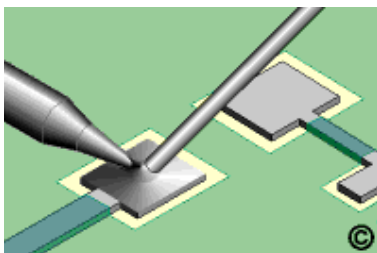
b.) Forrasz adagolása

c.) A kész forrasztás

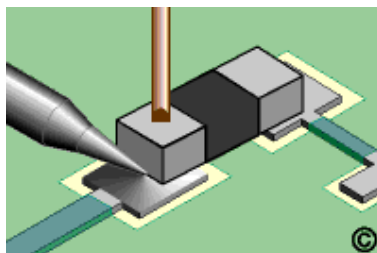
5.18. ábra: Furatszerelt alkatrészek forrasztása pákával:

Felületszerelt alkatrészek forrasztása pákával (5.19. ábra):

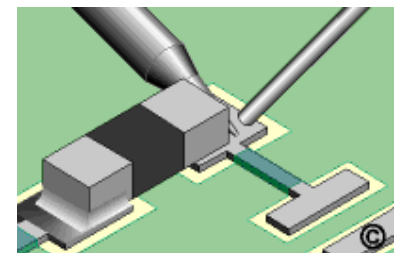
1. Folyékony folyasztószert adagolunk a forrasztási felületre.
2. Az egyik forrasztási felületet bevonjuk forrasszal.
3. Az összes forrasztási felületre folyékony folyasztószert viszünk fel.
4. Az alkatrészt beültetjük és forraszhuzallal lefogjuk, hogy ne mozdítsuk el a pákával.
5. A forrasszal bevont felületen lévő forraszt a pákával újra megolvasztjuk.
6. A pákát eltávolítjuk és megforrasztjuk az alkatrész másik oldalát is.
7. Szükség esetén megtisztítjuk a forrasztott kötésekét és ellenőrizzük azokat.



a.) Az egyik felület bevonása,



b.) A páka érintése a felületekhez,



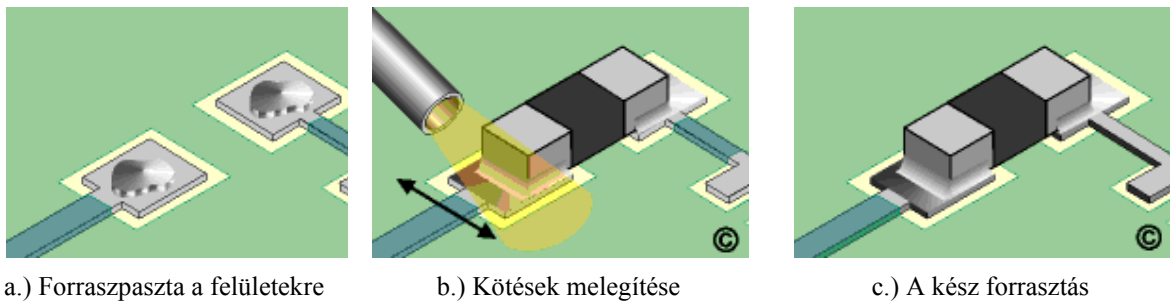
c.) Az áttelleges oldal forrasztása

5.19. ábra: Felületszerelt alkatrészek forrasztása pákával:



Alkatrészek forrasztása hőlégfúvóval (5.20. ábra):

1. Mindegyik forrasztási felületre felviszünk forraszpasztát kis mennyiségben.
2. Beültetjük az alkatrészt.
3. Beállítjuk a hőlégfúvó hőmérsékletét és áramoltatási sebességét.
4. A hőlégfúvót ráirányítjuk az alkatrészre, és kb. 2,5 cm-re tartjuk attól. Így kiszárad a paszta, és a folyasztószer aktiválódik.
5. Mikor a paszta kiszáradt, a hőlégfúvót 0,5 cm-re az alkatrésztől oda-vissza mozgatva mindkét oldalán felmelegítjük a pasztát az olvadáspontja fölé. Megvárjuk, míg kialakul a kötés.
6. Ezután eltávolítjuk a hőlégfúvót, és megvárjuk, míg a forrasz megdermed.
7. Szükség esetén megtisztítjuk a forrasztott kötések, és ellenőrizzük azokat.



5.20. ábra: Alkatrészek forrasztása hőlégfúvóval:

### 5.2.1. Kiforrasztási eljárások

Egy alkatrész cseréje esetén, amikor egy alkatrészt a helyéről ki kell emelni, a kivezetéseinél levő forrasztásokat el kell távolítani. A kiforrasztás lényege, hogy a kötést újból felmelegítjük, hogy megolvadjon, és ekkor a forraszanyagot eltávolítva, szabaddá válik az alkatrész is. A felmelegítés könnyedén megoldható forrasztópákával, míg a forrasz eltávolítása forraszelszívó szalaggal, illetve kézi vagy gépi forraszszipantó pumpával lehetséges. Fontos, hogy a kiforrasztási művelet ne legyen olyan hosszú, hogy az alkatrészt és környezetét a túlmelegedés, esetleg az elégetés veszélyének kitegyük. Tehát a műveletet a lehető legrövidebb idő alatt kell elvégezni.

## 5.2.2. Kiforrasztáshoz szükséges eszközök

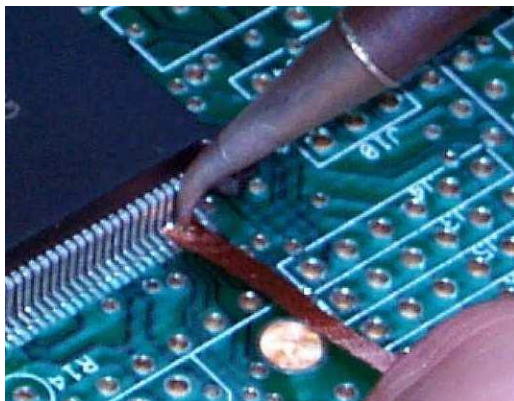
### 5.2.2.1. Forraszelszívó szalag

Bár anyagfelhasználással jár, mégis az egyik legegyszerűbb kiforrasztási eljárás az forraszelszívó szalag (kiforrasztó huzal/harisnya, litze) alkalmazása. A forraszanyag eltávolításához használt vezeték tulajdonképpen egy sokeres, többrétegű, finom, vörösréz drótfonatból álló szalag (5.21. ábra), ami többféle szélességben és vastagságban kapható. A szalag szövet-jellege miatt nagymértékben megnő a felülete, azaz kis térfogatában is igen nagy rézfelülettel rendelkezik, és így módon a nagyobb felület nagyobb mennyiségű forraszt képes felszívni a felületi feszültség következtében. Ezt a megolvasztott forrasztba helyezve a fölösleges mennyiséget elvezeti, magába szívja, ami által a forrasztási hely felszabadul.



5.21. ábra: A forraszelszívó szalag

A kiforrasztó huzal használata igen egyszerű: a kiforrasztani kívánt alkatrész forrasztási pontjához helyezük a szalagot, és pákával a forrasztási helyre nyomjuk (5.22. ábra). A forrasz megolvad, a kiforrasztó huzal pedig a forraszt felszívja. A huzalt a pákával együtt eltávolítjuk a forrasztási helyről, és az alkatrész kivezetését ezzel már ki is forrasztottuk. Figyelni kell, hogy a forraszelszívó szalag ne húljön ki, mielőtt eltávolítjuk a forrasztási helyről, mert hozzáforraszkodhat a kötéshez, és a szalag eltávolításakor letéphetjük a forrszemet a hordozóról. Mivel a forrasztó huzal a felszívott forrasszal telítődik, az elhasznált forrasszal telítődött szalagot csípőfogóval egyszerűen le kell vágni, és a maradék tovább használható. A forraszanyaggal telítődött és levágott rész veszélyes hulladéknak minősül, ennek megfelelően az ilyen típusú hulladékok számára kijelölt tárolóba kell helyezni!



5.22. ábra: A forraszelszívó szalag alkalmazása

#### 5.2.2.2. Forraszszippantó pumpa

A forraszszippantó készülékkel (5.23. ábra) fel lehet szívni a forrasztási helyről az olvadt forraszt. Ezek általában olyan teflon csővéggel ellátott szerkezetek, amelyek a megolvadt forraszt a forrasztás helyéről a szerszám belsejébe szippantják. A forraszszippantáshoz szükséges vákuum előállítása egyszerűbb szerszámok esetében rugós dugattyúval, magában a szerszámban történik.



a.) összerakott állapotban



b.) szétszerelt állapotban

5.23. ábra: Ónszippantó pumpa

A kiforrasztás megkezdése előtt felhúzott - általában benyomott - rugójú szerszám végét a pákával felmelegített forraszolvadékba mártjuk, és a rugó segítségével működtetett dugattyút kioldjuk. A rugó felrántja a dugattyút, és a megolvadt forraszt a tefloncsúcson át a szerszám üregébe szippantódik. Ezzel a forrasztás kötése annyira fellazul, hogy a kivezetés a furatból könnyen kiemelhető. A pumpa teflon hegyére a forraszt nem képes feltapadni, valamint az eltávolított forraszt a pumpából később könnyen eltávolítható. A kiforrasztó szerszámok előnye, hogy a konvencionális forrasztópákával együtt igen hosszú ideig használhatók.

### 5.2.2.3. Kiforrasztó állomás:

A kiforrasztó állomás (5.24. ábra) a forraszszippantó pumpa gépi változata, ahol a forraszszippantásához szükséges vákuumot az ipari sűrített levegő-vezetékre kötve pneumatikus vákuumszivattyúval állítja elő, és így nem löki vissza az áramköri lapot, mint a kézi pumpa tenné. Az ilyen módon előállított szívóhatás már olyan jó, hogy egy ilyen szerszámmal a lyukgalvanizált lemezekről is könnyű a kiforrasztás. A kiforrasztó pákák közül a legegyszerűbbek a pákafejben mozgó dugattyú segítségével szívják fel a forrasztási helyen megolvadt forraszt. A dugattyú működtetése általában, a pisztoly formájú pákán, billentyű mozgatásával történik. Az ilyen egyszerű, a pákafejbe forraszt felszívó pákák továbbfejlesztett változatának tekinthető, a gumigolyós szívókával ellátott páka. Ez a forraszt felszívásához szükséges vákuumot a gumigolyó összenyomásával állítja elő. A pákák többnyire támasszal vannak ellátva, a gumigolyó elengedése ugyanis a pákafej elmozdulásával járhat. Ezen egyszerűen el lehet távolítani a pákafej forraszgyűjtő tartályát. Hátránya viszont ennek a pákatípusnak, hogy a gumigolyó kezelése nehézkes, és az elmozdulás - a kitámasztás ellenére is - könnyen megtörténhet. A forrasztó munkahelyek felszerelését füstelszívó berendezések egészítik ki a forrasztáskor felszabaduló gázok elszívására.



5.24. ábra: Kiforrasztó állomás

### 5.2.2.4. A sok kivezetős tokok kiforrasztása

IC-k kiforrasztása a fent említett három módszer (forraszelszívó szalag, forraszszippantó pumpa, kiforrasztó állomás) segítségével is lehetséges, de a lábakon lévő forraszt egyenkénti eltávolítása nehézkes, és magában rejti annak veszélyét, hogy a kihűlt alkatrész-kivezetés gyengén még hozzáköt az alatta lévő forrasztáshoz, és az IC tok eltávolításakor az alkatrészláb magával ránthatja azt.

A gyakorlatban elterjedt egyik módszer az olyan kiforrasztó páka használata, amelynél az IC tok kivezetések alakjának megfelelően kiképzett pákafejjel végezhető az összes kivezetés egyidejű kiforrasztása (5.25. ábra). A nagy hőkapacitású pákafej következtében a forrasz mindkét oldali fólián megolvad és az IC tok egyszerű szerszámokkal kiemelhető. Ezt a módszert széles körben használják, mivel a széles pákafej egyszerűen elkészíthető. A módszer hátránya, hogy az összes kivezetés egyidejű melegítésekor a hordozó lemez megéghet, esetleg a forrasztási felület leválást eredményezheti a hordozóról (PCB/NYÁK). Az IC tokok kiemelését a lapról arra merőlegesen kell végezni. (Az IC tok alá emelőként feszített csavarhúzó sok esetben forraszem-leválást okozhat, mivel a DIP-kivezetések közül a forrasszal még rögzítettek körül a DIP-tok kétkarú emelőként elfordulhat!) Felületszerelt alkatrészeknél forró levegő fúvásával az összes láb egyszerre történő melegítése is lehetséges.



5.25. ábra: Forrasztópákához való IC tok kiforrasztó fej

Bizonyos esetekben (ha a nyomtatott huzalozású hordozó épsége sokkal fontosabb, mint az IC toké, illetve a kiforrasztandó IC hibás), az IC tokozás kivezetéseinek lecsippentése a megoldás. Nyilvánvalóan ez az IC tok megsemmisítésével jár. A lábak sikeres kicsípése után az IC tok csipesszel könnyedén kiemelhető a lábak közül és ezek után a forraszemekre forrasztott kivezetések között nincs mechanikai kapcsolat, így egyesével a kötés felmelegítése után a még nedves forraszanyagból az alkatrész-kivezetés csipesszel kivehető. A megmaradt forraszanyag ezek után könnyedén eltávolítható.

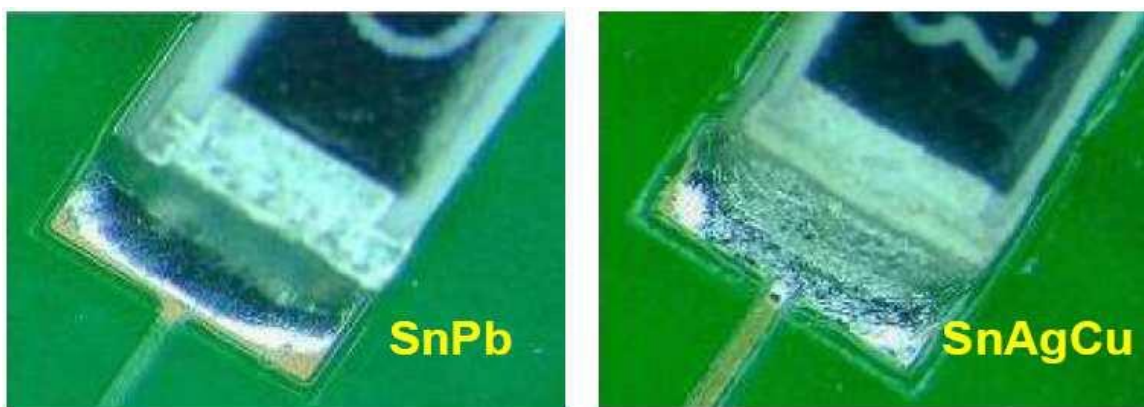
### 5.2.3. Ólommentes kézi forrasztás

Az ón-ólmot forraszóötvözet helyettesítésére többféle alternatívát kísérleteztek ki: az ón-bizmut ötvözeteket (olvadáspontja: 137 °C körül), az ón-cink ötvözeteket (olvadáspontja: 190 °C körül) és az ónban gazdag ötvözeteket (olvadáspontjuk: 209-227 °C). Sajnos ezek közül a bizmutos forrasz nagyon alacsony mechanikai szilárdságú, az ón-cink ötvözetűnél pedig korróziós és megbízhatósági gondok vannak. Így az ónban gazdag forraszokra esik leginkább a választás. Azonban az ólom ötvözetekkel szemben, melyeknek olvadáspontja körülbelül 180 °C, ezeknek az

ötvözeteknek az olvadáspontja mintegy 50 °C-kal magasabb. Ezen belül többféle forrasztótvözetet fejlesztettek ki, fontosabb közülük az ón-réz ötvözet (pl. 99,3%Sn, 0,7%Cu, Olvadáspont: 227 °C), az ón-ezüst ötvözet (96,5%Sn, 3,5%Ag, Olvadáspont: 221 °C), illetve az ón-ezüst-réz ötvözet (SAC) (95,5%Sn, 3,8%Ag, 0,7%Cu, Olvadáspont: 217 °C).

Az ólommentes forraszokhoz a hagyományos folyasztószerekhez hasonló készítmények használhatók, de mivel ezeknek a forraszoknak nagyobb a hőstabilitásuk, magasabb aktiválódási hőmérsékletre van szükség. A folyasztószereknek viszont el kell viselniük tartósan a 120 °C előmelegítési és esetenként a rövidebb idejű 270 °C csúcshőmérsékleti terhelést is, valamint a hosszabb nedvesítési idők miatt tovább kell aktívnak maradniuk. A pákacsúcsok élettartama miatt az ólommentes forraszok alkalmazásánál rendkívül fontos, hogy a pákacsúcs ólommentes forraszokhoz legyen tervezve, máskülönben drasztikusan csökken az élettartama. A gyártóktól kapott információk szerint a hagyományos pákacsúcsok alkalmazásánál az ólomtartalmú forraszok esetén a pákacsúcs várható élettartama 3 hónap, míg ólommentes forrasz alkalmazása esetén mindössze 3 hét.

Az ólmos és ólommentes forrasztás külső megjelenésében is vannak különbségek. Az első szembetűnő különbség az ólommentes forraszok alkalmazásánál a kötések durva, matt felülete (5.26. ábra). Habár az ipari szabványok már régóta megengedik a matt felületű forraszkötéseket, az ólomtartalmú forraszokra ez egyáltalán nem volt jellemző, többnyire a rossz minőségű kötések jellemzője volt.



a.) ólmos forrasszal

b.) ólommentes

5.26. ábra: Felületszerelt ellenállás forrasztott kötése:

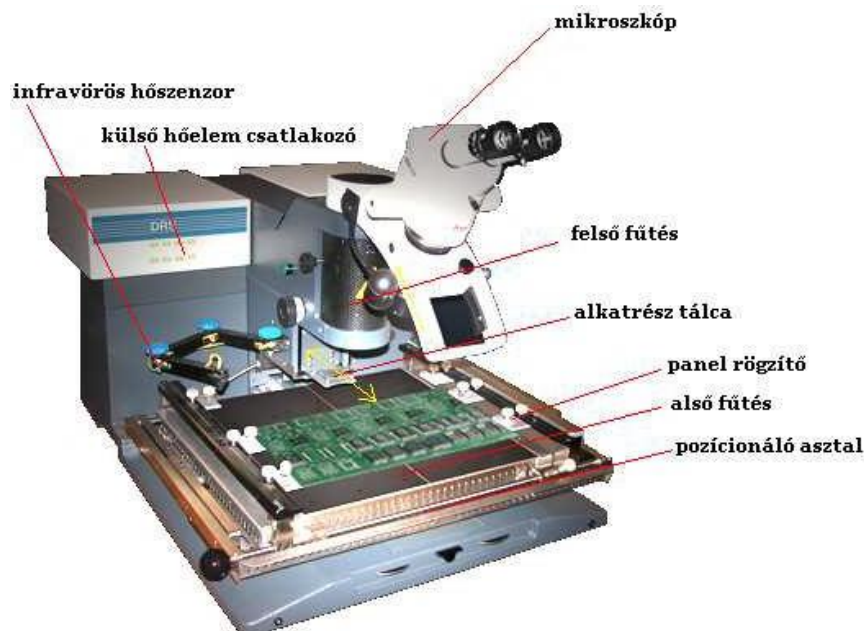
Az ólommentes forraszok lassabban nedvesítenek, az érintkezési szögük kicsit nagyobb, és a kötés felszíne kevésbé tükröz. A furatszerelt alkatrészek kötéseinél ólommentes forrasz alkalmazása esetén pl. elfogadott, ha a kötés felszínén apró törések húzódnak végig.



### 5.3. BGA TOKOK FORRASZTOTT KÖTÉSEINEK JAVÍTÁSA

A hibásan beültetett BGA alkatrészek javítása, legtöbb esetben csak az alkatrészek cseréjével vagy ritkábban újramelegítésével oldható meg. Az alkatrész levételéhez, új alkatrész beültetéséhez és forrasztásához is speciális készülékekre van szükség. A tok levétele és forrasztása során (szerencsés esetben) csak az adott alkatrész kötéseit ömlesztik meg, a moduláramkör egyéb részeire, a javítás nincs hatással. A javítási folyamat BGA javító állomás (BGA rework station) segítségével végezhető szakszerűen el. Ezek a készülékek általában alkalmasak más felületszerelt alkatrészek javítására is.

A ma forgalmazott BGA szerelő állomásoknál alapvető követelmény, hogy alkalmasak legyenek ólommentes forrasszal szerelt alkatrészek javítására is. Ehhez nagy teljesítményű és magas hőmérséklet előállítására képes fűtőegységeket kell alkalmazniuk, ami képes a szerelt alkatrész hőmérsékletét stabilan az ólommentes forrasztóanyag olvadáspontja fölé tartani. Az ólomtartalmú forrasszal szerelt BGA tokok jó önközpontosító tulajdonsága miatt az alkatrész beültetésénél elegendő volt, ha a BGA kivezetésének (bump-nak) alapterülete csak 50 %-ban fedte a szerelőlemez kontaktusfelületét, míg az ólommentes forrasztás esetében sokkal pontosabb beültetés szükséges, hogy az alkatrész az optimális pozícióba forradjon.



5.27. ábra: DRS 25 BGA javító állomás fotója

### **5.3.1. A BGA javító állomások főbb részei**

A javító állomások irányítását, a programok készítését grafikus kezelőfelületen keresztül lehet elvégezni, ami általában egy csatlakoztatott PC-n fut. A szerelőlemez elhelyezéséhez, pozicionálásához és rögzítéséhez az állomások állványzatot tartalmaznak. Az újraforrasztás folyamatához a moduláramkör előfűtését egy a szerelőlemez alatt lévő konvekciós vagy infravörös elven működő alsó fűtőegység végzi. A beültetendő alkatrészt vákuum pipetta segítségével lehet pozicionálni és elhelyezni a szerelőlemezen. A gépeken a vákuum pipetta helye többnyire rögzített, csupán Z irányú és theta (saját tengelye körüli forgás) irányú mozgásra képes, ezért beültetéskor a szerelőlemezt kell az alkatrész kivezetéseivel illeszteni. A BGA tokozású alkatrész pontos beültetését prizmás, optikai vagy video rendszer segíti, ami egyes berendezések esetében automatikus pozicionálásra is képes. Az állomások egyik jellemzője, hogy maximálisan mekkora méretű moduláramkört lehet vele javítani. Ezt az állványzat és az alsó fűtés mérete határozza meg.

Az alkatrész újraömlesztéses forrasztásához a hő közlése konvekcióval, infravörös- vagy lézersugárzással történhet. A legelterjedtebb a konvekciós hőközlés, amikor az alkatrész tetejét fűvókán (nozzle) keresztül áramoltatott, szabályozható hőmérsékletű forró levegővel melegítjük. A fűvókát úgy célszerű kialakítani, hogy a kiáramló levegő minél kevésbé melegítse a környezetben lévő alkatrészeket. A fókuszált infravörös sugárzással történő melegítés előnye, hogy kevésbé melegíti az alkatrészt környező részeket, viszont az infravörös hőközlés a konvekciónál lassabb. A napjainkban még drága, lézeres berendezések a két rendszer előnyeit egyesítik. A programírás és forrasztás közben hőszenzorok és csatlakoztatható termoelemek segítségével lehet a folyamatot nyomon követni, illetve a javító állomás is ezeket a jeleket használja a hőmérséklet szabályzásához.

### **5.3.2. BGA tokok javításának lépései**

A hibás alkatrész eltávolítása is a javító állomással történik, amely a tokot és a hordozót is felmelegíti, így a BGA forrasztóanyag megömlenek és egy vákuumpipetta segítségével a tok felemelhető a hordozóról.

Az alkatrész eltávolításának első lépése, hogy az AXI (Automatikus Röntgenes Ellenőrzés) vizsgálat alapján eldöntsük, hogy a kiforrasztott alkatrészt lehet-e, illetve szeretnék-e újra felhasználni a gyártásban vagy sem. Ha a hiba olyan jellegű, amely nem károsította az alkatrész

szerkezetét (rövidzár a forraszgolyók között vagy nyitott kötés), akkor az alkarészt újra felhasználhatjuk. Ha azonban a BGA tok szerkezete vagy az IC lapka károsodott (az alaplemez vagy a műanyag lezárás megrepedése), a tokot nem szabad a további gyártásban felhasználni. Ennek eldöntése azért lényeges, mert károsodott BGA esetén a kiforrasztás hőprofiljában lényegesen gyorsabb felfűtést, illetve rövidebb időtartamokat használhatunk. A kiforrasztás idejének csökkentésével mérsékelhetjük a környező alkatrészek hőterhelését és a károsodásuk kockázatát. Abban az esetben viszont, ha az alkatrészt újra fel kívánjuk használni, akkor a kiforrasztás hőprofilja a beforrasztáséhoz nagyon hasonló kell legyen, figyelembe véve a tokra, a nyomtatott huzalozású lemezre, és a környező alkatrészekre megengedett hőterhelést.

Kiforrasztás esetén nem elégséges csak a tok felől alkalmazunk melegítést, ugyanis a tok és a nyomtatott huzalozású hordozó alsó és felső része közötti jelentős hőmérsékletkülönbség a hordozó hajlását, csavarodását idézheti elő, amely a mikrovíak és egyéb érzékeny huzalozási részek sérüléséhez, valamint a tok sérüléséhez vezethetnek. A lemez és a tok együttes és egyenletes felfűtése alapvető fontosságú, ezért szükséges az alsó fűtés alkalmazása. A megnövekedett hőterhelés miatt a környező alkatrészek is károsodhatnak, amit kerámia vagy műanyag hőszigetelő árnyékolásokkal lehet csökkenteni a forrasztás során (5.28. ábra).

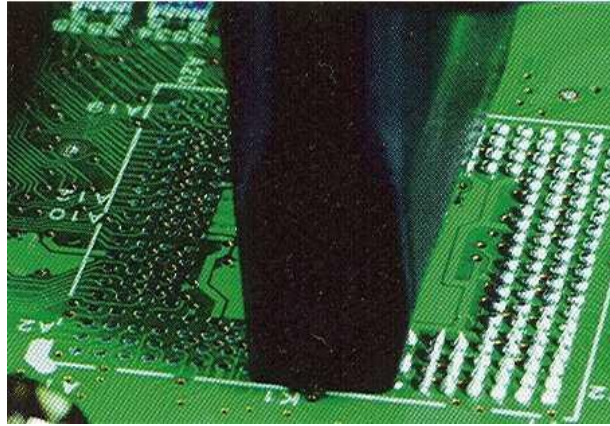


5.28. ábra: Hőterhelés csökkentése hőszigetelő elemekkel

Az alkatrész felemelése a hordozóról csak azután történhet meg, miután a BGA összes forraszkötése megömlött. Ezt a hőprofil és a javító állomás programjának elkészítésénél minden esetben hőelemmel kell ellenőrizni, ellenkező esetben, ha a forraszgolyók nem érték el az olvadáspontjukat, a tok felemelése a hordozó kontaktusfelületeinek felszakítását okozhatja. Ez különösen a nagyméretű (>1,5x1,5 cm) és sok kivezetésű tokoknál kritikus.

Az alkatrész eltávolítása után a következő lépés a felesleges forraszmaradványok eltávolítása a

szerelőlemeze. Ez a folyamat vákuumos fűtött lappal megoldható, vagy gyakran alkalmazott eszköz a rézfonat vagy forrasztószalag. Ezek használatához szükséges forrasztószer felvitele a felületre, amit az eljárás végén eltávolítunk.

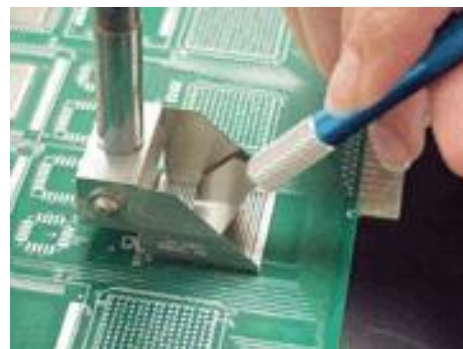


5.29. ábra: Vákuumos forrasztómaradvány eltávolító

Következő lépésként a megtisztított szerelőlemeze forrasztószalagot viszünk fel minisztencillal, majd előkészítjük az alkatrészt beültetésre. Amennyiben a kisserelt alkatrész nagy értékű, akkor az alkatrész a kontaktusfelületeinek újragolyozásával ismét forraszthatóvá válik. Kevésbé értékes alkatrészek esetén az előzetesen kisserelt alkatrész eldobható, és új alkatrész szerelhető a helyére.



a.) fém ministencil



b.) pasztafelvitel kézzel

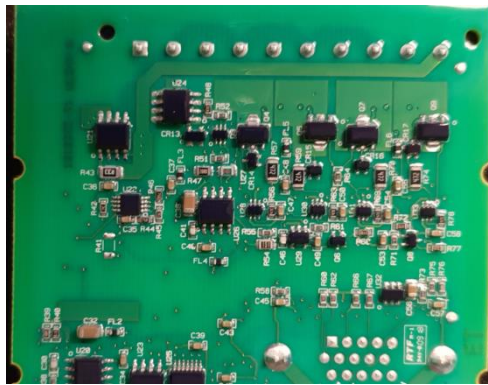
5.30. ábra: Szelektív forrasztószalag felvitel;

Ezután következhet az alkatrész beültetése, majd forrasztása. Ezeket a lépéseket a BGA javító állomások már általában automatikusan végzik. A forrasztás hőprofilja hasonló az újraömlésztéses forrasztás hőprofiljához. A forrasztás hőprofiljának kialakításához a hőmérsékletet mérni kell az alkatrésztokon és az alkatrész kivezetésein egyaránt.

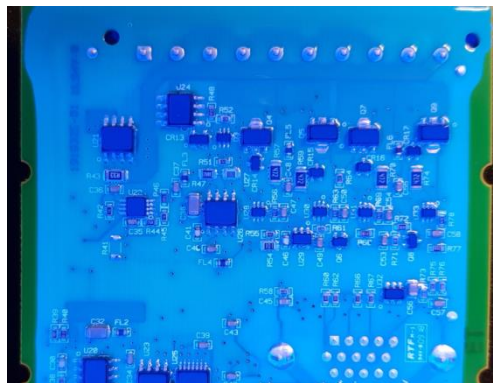
## 6. ANYAG ADAGOLÁSI ELJÁRÁSOK

### 6.1. CONFORMAL COATING

A conformal coating általában 25-250  $\mu\text{m}$  vastagságtartományban felhordott alakkövető bevonat, mely felhordásra kerül a nyomtatott huzalozású lemez és rajta elhelyezett alkatrészek felületére. A bevonat célja, hogy megvédje a kártya alkatrészeit és fémes kötéseit, felületeit a korrózió, nedvesség, por, vegyi anyagok, vibráció és a szélsőséges igénybevételek ellen. A legtöbb elektronikai gyártással foglalkozó cég egy átlátszó réteggel vonja be a termékeket (6.1. ábra), mely könnyen ellenőrizhető például UV fény alatt (6.2. ábra).



6.1. ábra: Bevonatolt és szobai fényvel megvilágított termék (a bevonat láthatatlan)



6.2. ábra: Bevonatolt és UV fényvel megvilágított termék (látható a bevonat)

Az elektronika hatalmas választékának köszönhetően a nyomtatott áramkörnek számos környezetben megbízhatóan működni kell. A vevők közt szerepelhet a hadiipar és repülőipar is, ahol a megbízhatóság kulcsfontosságú. Az áramkörök ilyen felhasználási környezetben nedvességnek, sónak, vegyi anyagoknak és hőmérsékletváltozásoknak lehetnek kitéve. A bevonat védi az elektronikus alkatrészeket az ilyen körülményektől, és jelentősen növeli a termék élettartamát és megbízhatóságát.



Az áramköröket bevonatolás előtt tisztítani kell. A tisztítás eltávolítja a szennyeződéseket, a flux maradványokat, olajokat és az esetleges ujjlenyomatokat, amelyek hatással lehetnek a bevonat tapadására. A tisztítás vizes vagy oldószer alapú vegyszerek alkalmazásával történhet. Az érintkező területeket le lehet/kell maszkolni, hogy elkerülhető legyen a nem bevonatolandó területek lakkozása. A maszkolás történhet többször használható kupakkokkal, lakkozás specifikus szalaggal, eltávolítható szilikonbázisú latex anyaggal. Minden művelet során ügyelni kell az ESD megfelelésségre. A hatékony ellenőrzés miatt célszerű biztosítani a fekete hátteret; így a fluoreszkáló bevonat könnyen ellenőrizhető, a hibák könnyen észrevehetőek.

### 6.1.1. Bevonat felviteli eljárások

A bevonatoló réteget felvitelére több eljárás is létezik, a leggyakrabban használt felviteli módok az alábbiak:

- Ecsetelés
- Kézi szórás
- Mártás
- Szelektív mártás
- Szórás
- Szelektív szórás

#### 6.1.1.1. *Ecsetelés*

Ecsetelés során az anyag felvitele ecsettel történik a lakkozendó felületre. Az eljárás alkalmas kis mennyiség gyártására, és termék bevonatának a javításra. A bevonat nagyban függ a lakkozást végző személy képességeitől (6.3. ábra).



6.3. ábra: Bevonat felvitele ecseteléssel



Az eljárás előnye, hogy kézzel elvégezhető az anyag felvitele, és a gépi felvitelnél sok esetben keletkező buborékosodási hiba elkerülhető. Hátrányként említhető a lassú és nem szabályozható folyamat, valamint nem kontrolálható rétegvastagság.

#### 6.1.1.2. Kézi szórás

Kézi szórás esetén a bevonat aeroszolos szórófejjel (6.4. ábra) vagy spray szórópisztollyal vihető fel a felületre. Az eljárás alkalmas alacsony és közepes darabszámú termékek bevonatolására. A bevonat minősége minden más módszernél jobb lehet, ha a magasan képzett, nagy tapasztalattal rendelkező szakember végzi el az eljárást, feltéve, hogy az áramköri lap tiszta és nincs szó tapadási problémáról.



6.4. ábra: Bevonat felvitele kézi szórási eljárással

A kézi szórás lehet az egyik legköltséghatékonyabb módja a bevonat felvitelének, illetve javítási munkákhoz is ideálisan használható. Felvitel során érdemes elszívást használni, vagy szórókabinban elvégezni a felvitelt. Előnyként említhető, hogy 2 réteg fedőréteg is használható, könnyebb/jobb lefedés érhető el a csúcsoknál, éleknél, valamint csökkenthető a maszkolás mértéke

#### 6.1.1.3. Mártás

A mártási felviteli eljárás igen jól ismételtető folyamat (6.5. ábra). Ha a nyomtatott áramköri panel (PCB) megfelelően van kialakítva, ez a technológia lehet a legalkalmasabb nagy darabszámú gyártásra. A bevonat a termék teljes felületét bevonja, beleértve az alkatrészek alatti részeket is, ezért a maszkolásnak tökéletesnek kell lennie a beszivárgás megelőzése érdekében.



6.5. ábra. Merítőgép

A felviteli eljárás hátránya lehet, hogy sok esetben a termék tervezés miatt nem alkalmas a bemártásra. Éleknél, csúcsoknál, csatlakozási pontoknál probléma merülhet fel.

#### 6.1.1.4. *Szelektív mártás*

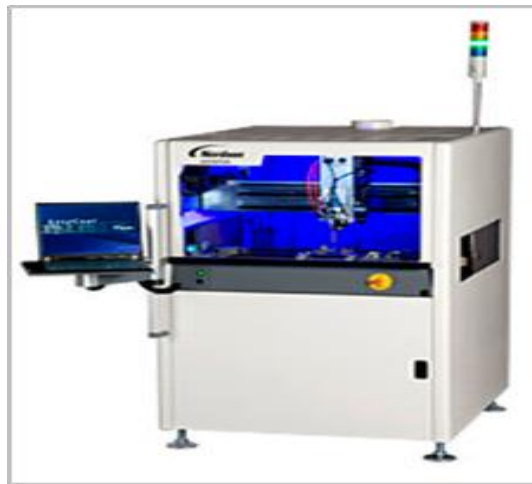
Ez a felviteli megoldás a mártási folyamat egy speciális esete, amelynél termékhez dedikált egyedi szerszám használatával kitarthatjuk azokat a területeket, amelyeket nem kívánunk bevonatolni. Az eljárás előnye megegyezik a mártásos eljárásával. Illetve a szerszám használata miatt csökkenthető a maszkolási felületek nagysága. Hátránya viszont, hogy termékenként egyedi szerszámot kell alkalmazni. Koszos, ezáltal tisztítás, karbantartás igényes.

#### 6.1.1.5. *Szelektív szórás*

Ez a módszer az egyik legjobb választás, a nagy mennyiségű gyártáshoz. Gyors és pontos módszere a bevonat felvitelének teljes felületen, de szelektív felvitel esetén is jól alkalmazható (6.6. ábra). A felvitel történhet adagoló fejjel, porlasztva, vagy porlasztás nélküli permetezéssel, illetve ultrahangos fejjel, amely robotkar segítségével az áramköri lap fölé mozdul és a bevonó anyagot kijuttatja / permetezi az előre meghatározott területekre. A nyomást, az áramlási sebességet és az anyag viszkozitását az applikátor vezérlésére szolgáló számítógépes rendszeren keresztül programozni lehet, így a kívánt bevonat vastagsága jól kontrolálható. A többi eljáráshoz hasonlóan ennél a felviteli eljárásnál is vannak korlátozások, például kapilláris hatás miatt az alacsony profilú csatlakozók körül azonnal feltud futni a bevonat, mely sok esetben nem elfogadható (pl. csatlakozó belsejébe, vagy a csatlakozók érintkezőjére felfut a bevonat).

*Szelektív szórt bevonat fontosabb paramétere:*

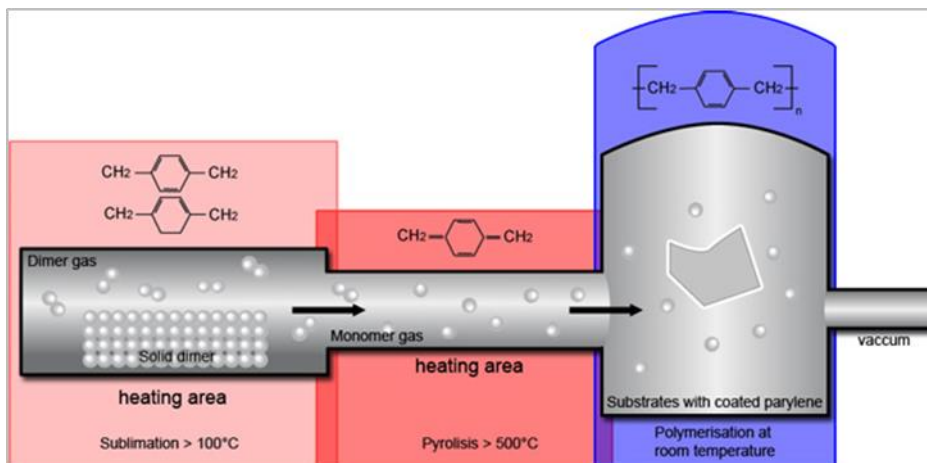
- Sebesség
- Magasság
- Szög
- Nyomás
- Viskozitás
- Tisztaság
- Maszkolás
- Felületi feszültség, illetve érdesség
- Topográfia



6.6. ábra. Automata bevonató berendezés

#### *6.1.1.6. Vákuumos felviteli, lerakódási eljárás:*

A bevonat felvitele gőzfázisú leválasztással (VD -Vapor Deposition) lehetséges. Először a kiindulási anyag porát (dimer) elgőzöltetik, amit tovább melegítve monomerré alakítanak (6.7. ábra). A szerelt áramkör felületére már polimerként csapódik le az anyag. A teljes folyamat vákuumban történik. A bevonatok vastagsága pontosan beállítható, vékony rétegben (500 nm ... 75  $\mu\text{m}$ ) megvalósítható a felvitel, így nem növekszik számottevően a kész áramkör vastagsága. Az eljárás során parilén gőz fázisból válik ki a bevonat, ezért a legkisebb hézagokban is kialakul a bevonat. Ezeknek a polimereknek nincs folyadék fázisú összetevője, ezzel sok hiba kiküszöbölhető (gödrösödés, hídképződés, felfutási ív hibái, stb).



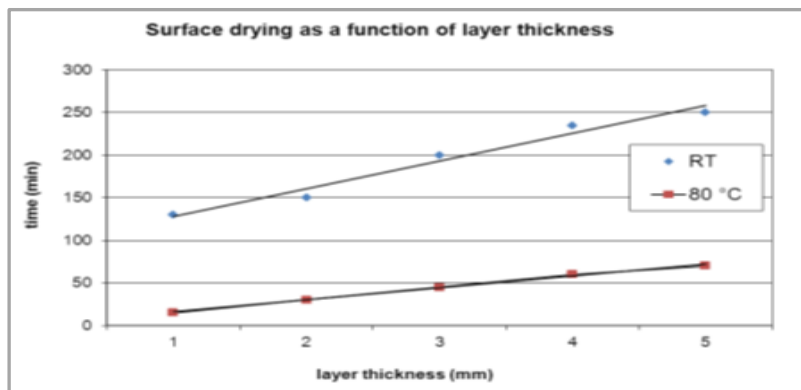
6.7. ábra. Gőz fázisú bevonatolási eljárás.

További előnyös tulajdonságuk, hogy optikailag tiszták, így nem zavarják az optikai vizsgálatokat és az elektromos jelekben sem keltenek zavarokat. A technológia hátránya a magasabb költség

## 6.1.2. Felvitt bevonat szárítási eljárása

### 6.1.2.1. Szárítási eljárás oldószeres és vízbázisú alakkövető bevonatok

A standard oldószeralapú akrilok esetében a szabad levegőn való száradás (filmképzés) a normál folyamat kivéve, ha lényeges az idő. Hőkezelés alkalmazható különálló vagy konvektoros, inline szárító berendezés használatával és tipikus keményedési hőprofilokkal (6.8. ábra). A vízbázisú bevonatok ugyanúgy kezelhetők, de hosszabb szárítási idejük miatt nagyobb odafigyeléssel kell alkalmazni a szárítási metódust. A bevonatot száradtnak az oldószerek teljes párolgása után értjük. A szárítási paraméterek nagymértékben függenek az alkalmazott réteg vastagságától, a szerelvénny geometriájától, az alkatrészek elrendezésétől vagy a kemencén alkalmazott hőprofiltól stb. Követni kell a lakkgyártó által előírt értékeket. Az alábbi diagram, egy gyártó által megadott száradási időt reprezentálja szoba- és emelt hőmérsékleten, vastagság függvényében.



6.8. ábra. Szárítási hőprofil

### *6.1.2.2. Szárítási eljárás UV fényre keményedő alakkövető bevonatok*

A konform bevonatok UV-keményedése fontos szerepet játszik a nagy volumenű felhasználók számára olyan területeken, mint az autóipar és a fogyasztói elektronika. Az UV fényre keményedő bevonatok népszerűsége egyre inkább növekszik a rövid száradási idő, az egyszerű alkalmazás, a környezetbarát anyag, valamint a termikus ellenállási képesség miatt.

Az eljárás előnye a rendkívül gyors kikeményedési idő, kiválóan alkalmas nagy mennyiségű termeléshez és kiváló a kémiai, valamint oldószerállósága a bevonatnak. Jó nedvesség, és hő álló bevonat alakítható ki.

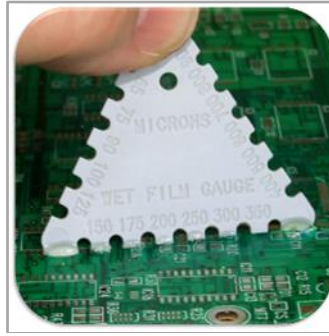
Technológia hátrányaként elmondható, hogy az utólagos javítási munkák nehezen kivitelezhetőek. Kevésbé rugalmas, mint más típusú bevonat. Drága és az alkatrészek alatt lévő árnyékolt területek lassan, vagy nem keményednek ki teljesen. Az esetek jelentős részében másodlagos kikeményítési eljárást igényelnek, melynek következtében a felvitt bevonat befolyásolhatja az áramkör elektromos paramétereit, érzékeny és precíziós áramkörök esetén kerülendő ez a fajta keményítési eljárás és bevonatoló anyag használata.

### **6.1.3. Bevonat vastagság mérése**

A bevonat (kikeményedés után) vastagsága tipikusan 30-130  $\mu\text{m}$ , ha akril, epoxigyantát vagy uretán anyagot használunk. A szilikon anyagokhoz az IPC szabvány 50-210  $\mu\text{m}$  vastagságú védőréteget ír elő.

#### *6.1.3.1. Folyékony halmazállapotú bevonat vastagság mérése*

A folyékony lakkvastagság mérés biztosítja a minőségellenőrzést, miközben a bevonat még nedves (6.9. ábra). A túl vastag bevonat alkalmazása költséges lehet. A nedves filmréteg mérések hasznosak akkor, ha a kötött rétegvastagság csak destruktív módon mérhető, vagy ahol az alakkövető bevonat túlzott alkalmazása problémás. A nedves filmréteg mérőeszközt a folyékony halmazállapotú bevonatra helyezzük; a fogak jelzik a bevonat vastagságát. A száraz réteg vastagságát ezután kiszámíthatjuk a mérésből.



6.9. ábra: Folyékony filmréteg mérés

#### 6.1.3.2. Szilárd halmazállapotú bevonat vastagság mérése:

A mérés rétegvastagság mérő eszközzel történik (6.10. ábra). A rendszer úgy működik, hogy az egyén a vizsgálati fejet a bevonat felületére helyezi. A mérés majdnem azonnali. Pontos, ismételhető eredményt ad.



6.10. ábra: Rétegvastagság mérő berendezés

Az eljárás hátránya, hogy a mérés visszaverődés alapján működik, például ultrahangos mérési megoldás esetén. Az ilyen mérésekhez egybefüggő fémfelület szükséges, hogy pontos eredményt kapjunk, a fémfelület sok esetben nem áll rendelkezésre a nyomtatott huzalozású lemezen.



#### 6.1.4. Alakkövető anyagok kiválasztása, csoportosítása

Anyagkiválasztás csoportosítása, kiválasztási szempontok:

<b>Bevonat tulajdonságai szerint:</b>	<b>Felvitel szerint:</b>
Tapadás	Viszkozitás
Rugalmasság	Száradási idő
Hőmérséklet tartomány	Teljes kikeményedési idő
Mechanikai tartósság	Kikeményedési körülmények
Elektromos teljesítmény	Utólagosan javítható-e?
Környezeti teljesítmény	Költség
	Minőség

Anyagok csoportosítása bevonatok szerint:

<b>Oldószer bázisú:</b>	<b>Víz bázisú:</b>	<b>Egyéb:</b>
Akril	Poliuretán	Epoxy
Poliuretán	Akril	Parilén bevonatok
Poliészter		Felületmódosítók
Szilikon és szilikon alkidok		

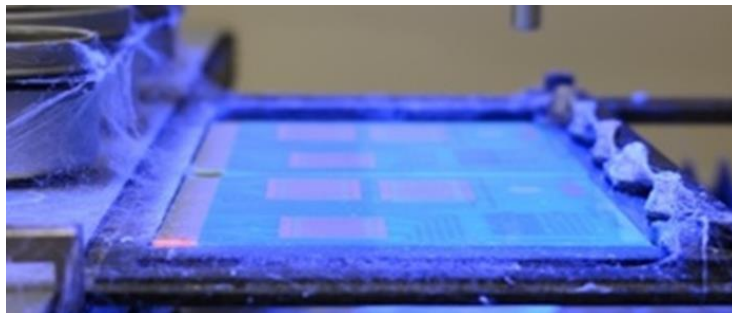
##### 6.1.4.1. Oldószerbázisú-Akril bevonat jellemzői

**Előny:** Jó rugalmasság, széles üzemi hőmérséklet-tartomány,  $-55\text{ ° C}$ -tól  $+130\text{ ° C}$ -ig. Kiváló optikai tisztaság és UV stabilitás. Ideális a LED-ek védelmére. Szobahőmérsékleten gyorsan szárad. Ideális nagy teljesítményű gyártáshoz. Eltávolítása könnyebben kivitelezhető. Az alkalmazási módtól függően tág viszkozitási tartomány mellett alkalmazható, vagy hígítóval hígítható akár a felhasználó által.

**Hátrány:** Alacsony oldószerállósággal rendelkezik ez a bevonat típus. Akriloknál fennáll a "cob-web" lehetősége.

A **cob-web** egy felviteli hiba (6.11. ábra), aminek köszönhetően száraz rétegeket vagy szálakat

látunk közvetlen a felvitt bevonat közelében. A felhasználók különböző nevet használnak. A cobwebbing, a pókháló és a vattacukor mind olyan kifejezések, amelyeket az felhordás hibájának leírására használnak.



6.11. ábra. Cob-web jelenség

Ez a hibajelenség a gyors száradásnak köszönhető, és a következőképpen csökkenthető: Az oldószer tartalom növelése vagy a hőmérséklet és a páratartalom csökkentése, valamint a nyomás csökkentése is eredményre vezethet.

#### 6.1.4.2. Oldószerbázisú -Poliuretán:

**Előnye:** Nagyon jó a mechanikai kopásállósága, kiváló oldószerállóság, szobahőmérsékleten szárad, Jó dielektromos tulajdonságok, jól ellenáll a trópusi környezetnek, széles üzemi hőmérséklet tartomány  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti és NPL-teszt kimutatta, hogy a poliuretán és a térhálósító bevonatok különösen gátolják az ón-bajusz növekedését (6.12. ábra).



6.12. ábra. Ónbajusz

Az ónbajusz (Tin-whisker) olyan jelenség, amely elektromos készülékekben fordul elő, amelynél a kötések idővel hosszú, bajusz szerű megjelenéseket alkotnak. A 20. század elején az elektronika vákuumsöves korszakában vizsgáltak olyan berendezéseket, amelyek tiszta, vagy csaknem tiszta, ón forrasanyagot tartalmaztak. Észrevették, hogy a fém felületek között kis fémszálak vagy gyűrűk keletkeztek, rövidzárlatot okozva. Számos technikát alkalmaznak a probléma

mérséklésére, ideértve a forrasztási folyamat (fűtés és hűtés) módosítását, kémiai elemek, például réz és nikkel hozzáadását és a megfelelő bevonatok felvételét. Hagyományosan ólmot adtak hozzá az ónalapú forrasztóanyag „bajusz képződéseinek” lassítására.

A bevonat hátrányaként elmondható a nehéz eltávolítás javítás esetén.

#### 6.1.4.3. Oldószerbázisú – Poliészter:

**Előnye:** Általános célú bevonat, könnyen alkalmazható és eltávolítható, szobahőmérsékleten szárad és költséghatékony.

**Hátránya:** Nem alkalmas magasabb hőmérsékletre, működési tartomány  $-50\text{ ° C}$  és  $+100\text{ ° C}$  között.

#### 6.1.4.4. Szilikonok:

**Előnye:** Működési hőmérséklet  $200\text{ ° C}$ -ig, kiváló rugalmasság, kiváló nedvességállóság, optikailag tiszta és UV stabil - ideális LED alkalmazásokhoz, alacsony felületi energia - kiváló nedvesítés és az IPC 50-200 $\mu\text{m}$  vastagságú bevonatot javasol a szilikonok számára. Akril, poliuretán és epoxi tipikusan 25-75  $\mu\text{m}$ -en kerül felhasználásra, különböző viszkozitások állnak rendelkezésre, amelyek lehetővé teszik a vastag bevonatokat, illetve a termikus keményítő szilikonokat bizonyos vegyi anyagok, pl. Aminok, akrilátok kikeményíthetik.

#### 6.1.4.5. Módosított szilikonok

A tulajdonságok az alapgyanta függvényében változnak, de ezek a szilikonok néhány jellemzőjét kínálják, anélkül, hogy szilikon szennyeződést okoznának. A piacon számos olyan bevonat létezik, amelyek "hibrid vegyszerek". Példák erre a módosított szilikonok. Az egyes tulajdonságok egyedi a terméken.

**Előnyök:** Rendkívül széles üzemi hőmérséklet-tartomány,  $-70\text{ ° C}$ -tól  $+200\text{ ° C}$ -ig, kiváló hőállóság ellen kiváló rugalmasság és kiválóan ellenáll a sónak és a párás környezetnek.

#### 6.1.4.6. *Vízbázisú bevonatok*

**Előnye:** Környezetbarát, Alacsony VOC (Volatile organic compounds): Ezek olyan szobahőmérsékleten gáz halmazállapotú anyagok alacsony forrásponttal, amelyeknek a környezetre káros hatásai vannak, illetve bizonyos határérték felett káros hatással vannak az emberi szervezetre is. Nem gyúlékony, az oldószer elpárologtatása után a víz a fő oldószer, illetve a száraz film tulajdonságai a polimer kémiai tulajdonságaitól függenek - gyakran poliuretánok vagy hibrid poliuretánok.

**Hátránya:** Víz hozzáadásával nem lehet megfelelően beállítani a viszkozitást. Hajlamosak a porlasztó fűvókák eltömítésére.

#### **Epoxi:**

Egy és 2 komponensű változatok léteznek. Általában oldószermentes, 100% szilárd anyag. Rendelkezésre áll magasabb viszkozitású epoxi mint a többi típus, így alkalmas speciális területek bevonatolására. Tipikusan nagyon kemény bevonatok, nagy kopásállósággal. Kiváló oldószerállóság jellemzi, nagyon nehéz eltávolítani. Hőmérséklet-tartomány 150 ° C-ig

#### **Parilén bevonatok:**

Ez egy speciális típusú, és nem igazán hasonlítható más bevonatokhoz. Más néven poli-paraxililén néven is ismert. Vákuumos lerakódási eljárás. A bevonat vastagsága nagyon egyenletes, még szabálytalan vagy nem felülnézetből nem látszó felületeken is.

**Hátrányai:** A csatlakozókat és érintkezőket nagyon gondosan le kell fedni légzáró maszkkal és drága technológia.

#### **Felületmódosítók:**

Általában 2% fluorozott polimert tartalmaznak. Nagyon alacsony felületi energiát hoz létre, taszítja a vizet és az olajokat (6.13. ábra) és nincs szükség maszkolásra. A megkötött filmréteg mechanikusan gyenge. Gyors száradási idő szobahőmérsékleten, ~ 5 perc



6.13. ábra. Alacsony felületi energia

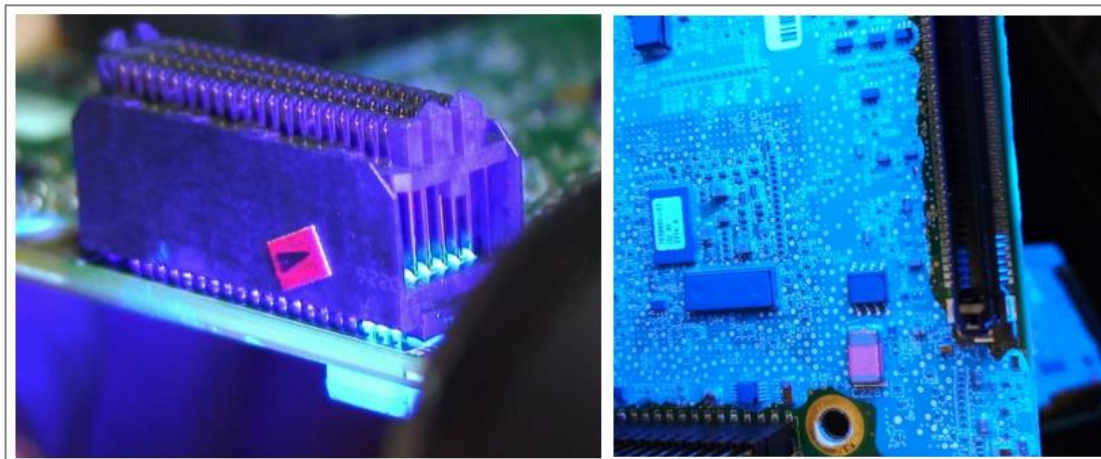
### 6.1.5. Bevonatokra jellemző tulajdonságok

Az iparban alkalmazott bevonatok tulajdonságait, alkalmazási területeit tartalmazza a 6.1. táblázat.

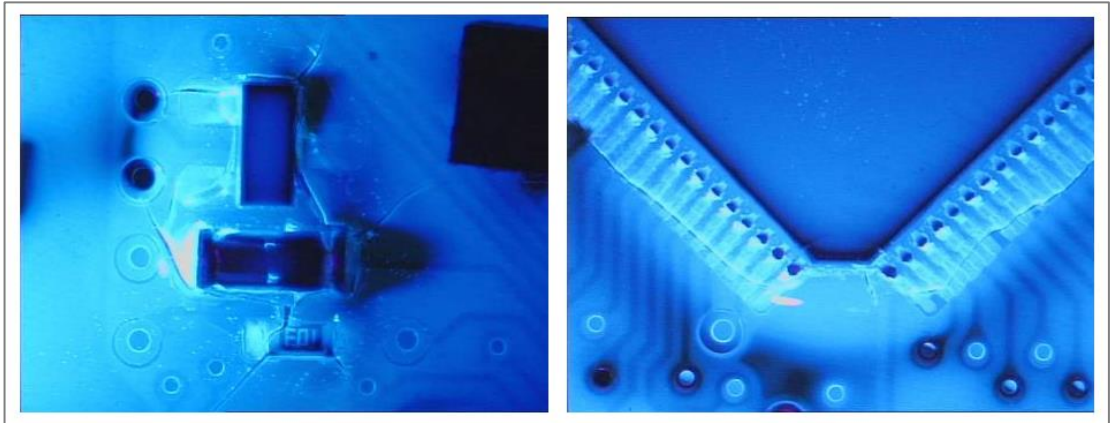
6.1. táblázat: Bevonatok tulajdonságai

Type	Material Cost	Ease of Application	Repair Costs	Temp Range	Solvent Resistance	Electrical Resistance	Abrasion Resistance	Material Pot Life
Acrylic	Low Cost	Multiple Methods	Easy to Touch Up	Good Range	Poor	Good	Good	Good once in inert atmosphere
Silicone	Higher Costs	Contaminates other materials	Difficult	Excellent	Good	Excellent	Good	Good
Urethane	Low Cost	Multiple Methods	Very Difficult	Good Range	Excellent	Excellent	Excellent	Short Pot Life
PTFE	Higher Costs	Specialized Equipment	Very Difficult	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good
Parylene	Higher Costs	Specialized Equipment	Very Difficult	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good

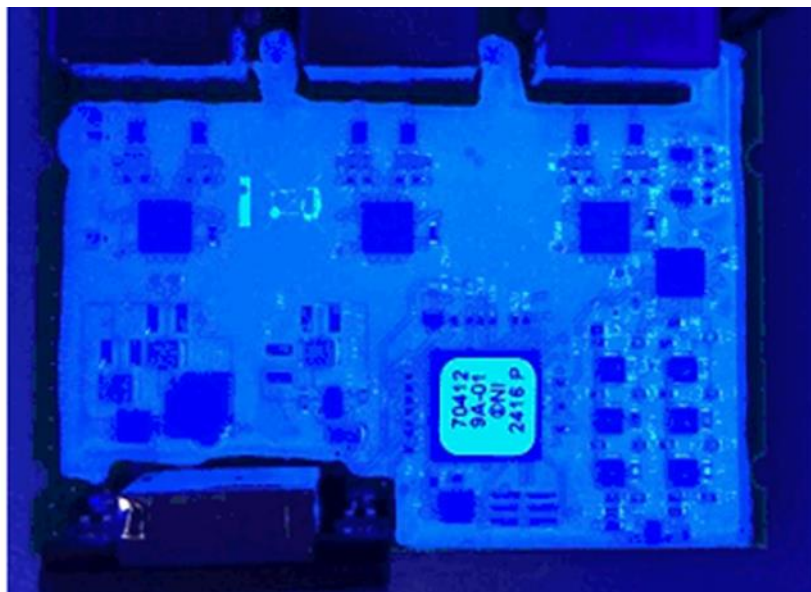
### 6.1.6. A bevonatolás során leggyakrabban előforduló hibák



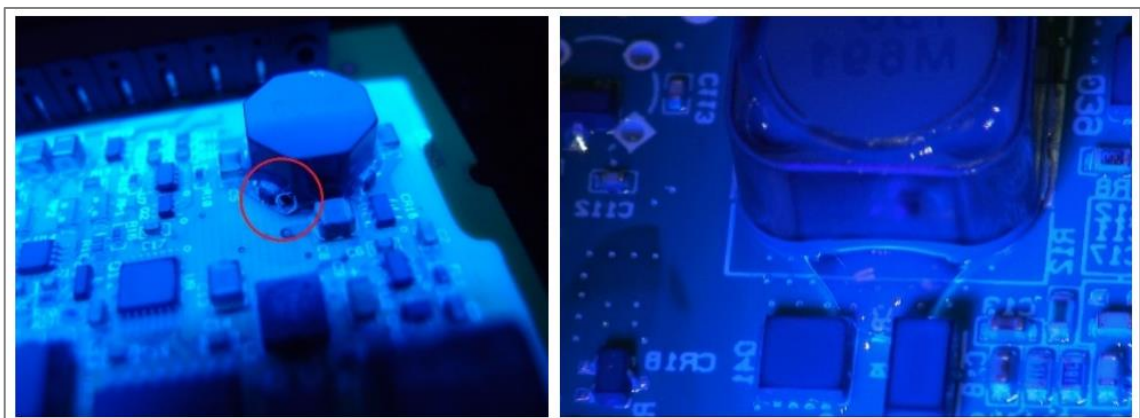
6.14. ábra. Csatlakozókba befolyt lakréteg



6.15. ábra. Repedés vastag bevonatolási réteg miatt



6.16. ábra. Hiányosan felvitt lakréteg



6.17. ábra. Buborékosodás



## 6.2. GASKETING

Az angol “gasket” szó tömítést jelent, innen ered a technológia elnevezése is, mely során viszkózus folyadékot viszünk fel a kívánt helyekre, amely a kezelés után rugalmassá válik, ezáltal szigetelést, tömítést hoz létre, illetve tompítja a rezgéseket, mechanikai behatásokat.

A technológia először a gépjárműiparban jelent meg. Míg eleinte a szigetelések kialakításához megfelelő formára vágott vagy öntött tömítőlapokat használtak, az automatizálás gyors fejlődésének köszönhetően hamar megjelentek olyan automatikus diszpenzáló berendezések, melyekkel megvalósítható volt folyékony szigetelőanyag felvitele is. A technológia az előnyeinek köszönhetően később az elektronikai iparban is elterjedt az áramkörök dobozolásának gyártása során.

A gasketing technológiával létrehozott szigeteléseknek több előnye is van a hagyományos, vágott vagy öntött szigetelésekkel szemben. A technológia legfőbb előnye annak automatizáltsága, rugalmassága. Míg az öntéses technológiát illetően egy új termék esetén egy teljesen új öntőforma szükséges, a gasketing technológia esetében elegendő a diszpenzáló berendezés átprogramozása. Továbbá az alapanyaggal való takarékoskodás szempontjából is sokkal hatékonyabb, ugyanis pontosan annyi alapanyagot használ fel, mint amennyi a tömítés létrehozásához szükséges, ellenben a vágásos technológiával, mely során rengeteg felesleg keletkezik. További előny, hogy míg a hagyományos technológiák esetében szükséges az előre elkészített szigetelések raktározása, a gasketing esetében erre nincs szükség. Annak köszönhetően pedig, hogy a gasketing során folyékony, viszkózus szigetelőanyagot viszünk fel a felületekre, még egyenetlen, nem tökéletes felületek esetén is kiváló minőségű szigeteléseket hozhatunk létre.

A gasketing folyamata és a folyamat során elkészült termék látható a 6.18 ábrán.



6.18. ábra. Gasketing adagolási folyamata, és elkészült lenyomat

A gasketinget továbbá az elektronikai gyártás során az áramkör árnyékolásának kialakítására is használják. Ilyenkor az áramkört körülvevő dobozolóást, burkolatot fémből készítik el, és a két burkolófelület közé ezzel a technológiával visznek fel elektromosan vezető anyagot, mely a kezelést követően azon túl, hogy biztosítja a doboz szigetelését, csökkenti a rezgéseket, mechanikai behatásokat, még az áramkör elektromágneses terekkel szembeni árnyékolását is megvalósítja. Ez a megoldást gyakran alkalmazzák telekommunikációs, ipari és gépjárműipari, valamint egészségügyi berendezések esetén.

### **6.2.1. A gasketing folyamatának lépései**

A folyamat négy fő lépésből áll, melyek a következők: a felület előkészítése, a szigetelőanyag felvitele, az anyag kezelése és az eredmény ellenőrzése.

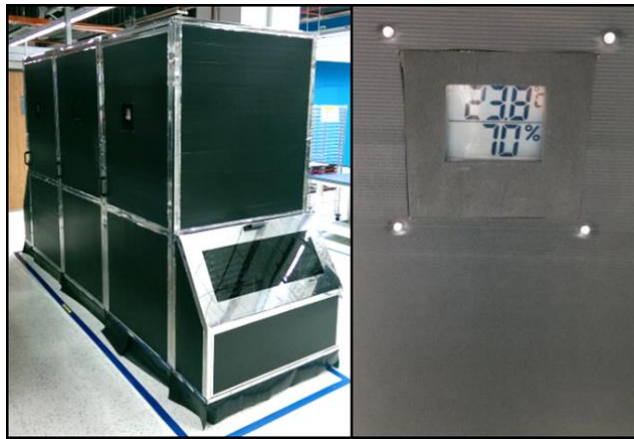
A felviteli folyamat előtt szükséges a felület előkészítése, megtisztítása. Ez általában izopropil alkohollal történik. Bizonyos felületek (pl. nikkelezett felületek) esetében a kötés nehezebben alakul ki, ilyenkor szükséges ezeket a felületeket plazmával kezelni, mely során eltávolítjuk az esetleges szennyeződések az adhézió növelésének érdekében.

A szigetelőanyag felvitele történhet többféle módon is: a két legelterjedtebb felviteli mód közül az egyik az automatikus diszpenzáló berendezéssel való felvitel, a másik pedig a manuális, kézi felvitel, de bizonyos esetekben stencilnyomtatással való felvitelt is alkalmaznak. Leggyakrabban az automatikus felviteli módot alkalmazzák a már korábban említett előnyei miatt. A kézi felvitelt csak nagyon kis számban történő gyártás esetén használják, ugyanis ez sokkal pontatlanabb és nagyobb szórású felvitelt eredményez, mint az automatizált felvitel.

A felvitel szempontjából kritikus paraméterek a diszpenzáló fejben lévő légnyomás, valamint a diszpenzáló fej sebessége. A légnyomás a felvitt anyag áramlási sebességére van hatással, a fej sebessége pedig az áramlási sebességgel együtt a felvitt anyag méretét, szélességét befolyásolja.

A kezelés során a felvitt viszkózus, folyékony anyag hő, UV fény, LED-es megvilágítás, vagy csak egyszerű látható fény hatására merev, rugalmas anyaggá válik, létrehozva így a tömítést, szigetelést, árnyékolást. A kezelés szempontjából kétféle anyagokat különböztetünk meg: form-in-place (FIP) és cure-in-place (CIP) anyagokat. Az FIP anyagok esetében a kezelés szobahőmérsékleten történik, továbbá nincs szükség külön megvilágításra. A CIP anyagok esetében a kezelés UV fénnel történő megvilágítás vagy hőkezelés segítségével megy végbe. A FIP anyagok kezelésének egy nagyon fontos paramétere a levegő páratartalma, ugyanis a teljes,

megfelelő minőségű kezeléshez szükséges egy minimális páratartalom tartása. Éppen ezért a kezelés a 6.19. ábrán látható páratartalom kamrákban történik.



6.19. ábra. Páratartalom kamra

A kezelést követően különböző vizsgálatok elvégzésével meggyőződünk a létrehozott tömítés minőségéről: vizuális ellenőrzés, tömítés szélességének megmérése, adhézió erejének ellenőrzése, tömítés ellenállásának megmérése. A vizuális ellenőrzés során meggyőződünk a felvitt tömítőanyag minőségéről, mennyiségéről, folyamatosságáról, illetve arról, hogy megfelelő mintázatban történt-e a felvitel. A tömítés szélességének mérését általában optikai komparátorral végezzük el, mely során ellenőrizzük, hogy a létrehozott tömítés szélessége megfelel-e a tervrajzokban lévő szélesség értékeknek. Az adhéziós erők mérését a (6.20. ábra) látható fizikai feszültség mérésére alkalmas berendezésekkel végezzük el, ellenőrizzük, hogy a felvitt anyag adhéziós ereje megfelel-e a gyártó által előírtaknak.

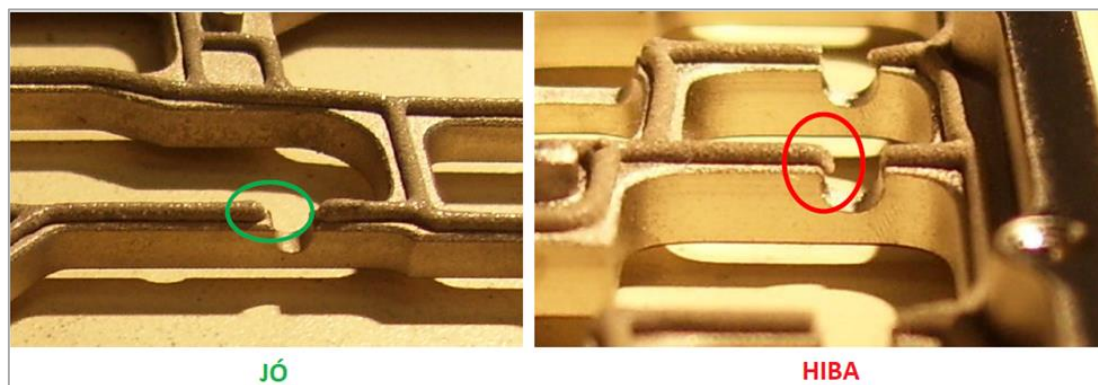


6.20. ábra. Felületi feszültséget mérő műszer

Elektromosan vezető tömítések esetén a tömítés ellenállásának mérésére is szükség van, mely során megvizsgáljuk, hogy a tömítés ellenállása elegendően kicsi-e ahhoz, hogy ezáltal biztosítsa a termék megfelelő árnyékolását.

## 6.2.2. A gasketing folyamat hibajelenségei

*Túlfutás:* Ilyenkor a felvitt tömítőanyag túllépi a diszpenzáló berendezés programjában definiált végpontot. A túlfutás javítható a felvitt anyag megfelelő helyen történő elvágásával és a felesleg eltávolításával, azonban nem ez a preferált eljárási mód és nem szabad, hogy ez a folyamat során gyakran előforduljon. A jelenség a 6.21. ábrán látható.



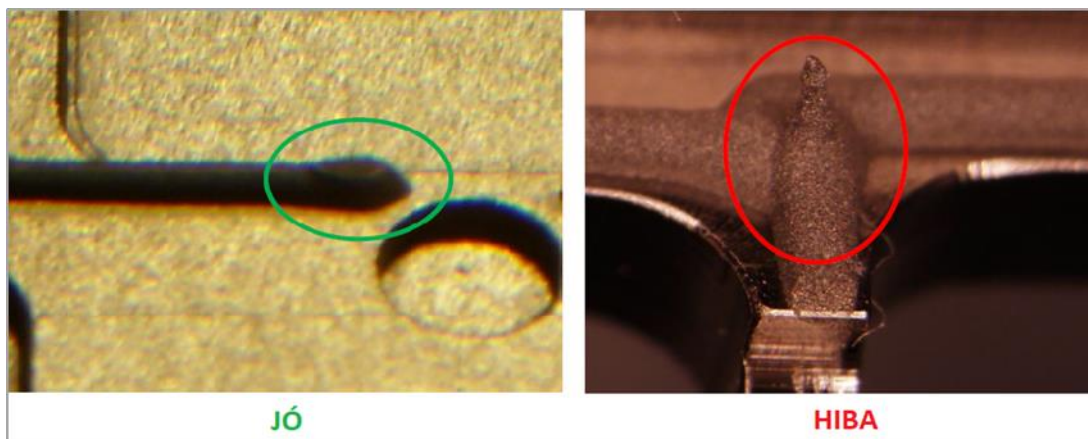
6.21. ábra. Egy megfelelő és egy túlfutásos hibás tömítés

*Gyenge adhéziós erők:* A felvitt tömítőanyag adhéziós ereje nem felel meg a gyártó által előírtaknak, így az adhéziós erők mérése során az alkalmazott nyírófeszültség miatt a felvitt anyag elszakad. A jelenség a 6.22. ábrán figyelhető meg.



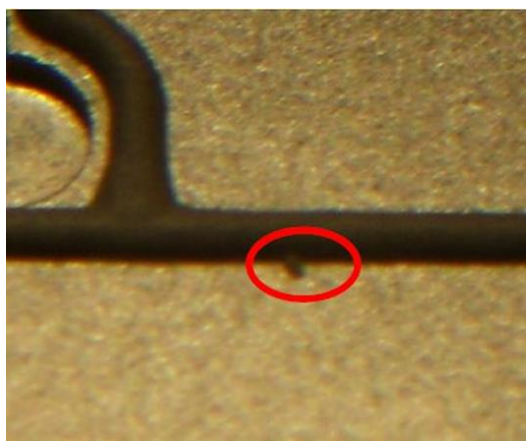
6.22. ábra: Gyenge adhéziós erők

*“Hershey-csók”:* Ez a jelenség tipikusan a tömítőanyagok végénél lép fel, amikor a diszpenzáló berendezés befejezi a felvitelt és felemelkedik. A hiba javítható, ha az anyagot a megfelelő magasságban elvágjuk és a felesleget eltávolítjuk. A jelenség a 6.23. ábra jobb oldali képén látható, a bal oldali képen pedig korábban hibás, de egy megfelelő módon kijavított tömítés látható.



6.23. ábra: Hershey-csókos, de javított jelenség illetve egy Hershey-csókos tömítés

*Csöpögés:* A felvitel során előfordulhat a csöpögés jelensége, mely esetén a felvitt tömítőanyag körül az anyag csöppekben jelenik meg. Ez a hibajelenség javítható a felesleges anyag eltávolításával. A jelenséget a 6.24. ábra mutatja be.



6.24. ábra. Csöpögés jelensége

*Megszakított adagolás:* A felvitt tömítőanyagnak teljes mértékben folytonosnak, folyamatosnak kell lennie. Ha légbuborék kerül a diszpenzáló berendezés tartályába, a felvitel során megszakítások keletkezhetnek a tömítőanyagban. Továbbá az is megtörténhet, hogy több tömítőanyag csatlakozása esetén a csatlakozás nem teljesen pontos, hézagok jönnek létre. Ezek a hibajelenségek láthatók a 6.25. ábrán.





6.25. ábra. A megszakított adagolás különböző fajtái

### 6.3. POTTING

A termékek megbízhatósága kiemelkedően fontos az elektronikai gyártóknak ahhoz, hogy a mai versenyképes piacon érvényesülni tudjanak. A termékek meghibásodását általában különböző környezeti tényezők okozzák, mint például a magas hőmérséklet, kémiai anyagok, korrózió, nedvesség, por, mechanikai behatások, rezgések stb. Bizonyos termékeknél pedig követelmény, hogy extrém körülmények között is működőképesek legyenek.

Az egyik lehetőség az elektronikai alkatrészek meghibásodásának kiküszöbölésére, csökkentésére, és ezáltal a termékek megbízhatóságának növelésére a potting technológia alkalmazása. A technológia során a PCB-t egy öntőformába helyezük (ezt angolul szokták “pot”-nak is nevezni, innen ered a potting elnevezés), majd ezt folyékony anyaggal megtöltjük, mely később megszilárdul, biztosítva ezáltal a PCB védelmét a mechanikai- és kémiai behatások ellen. A potting folyamata látható a 6.26. ábrán.



6.26. ábra. A potting folyamata

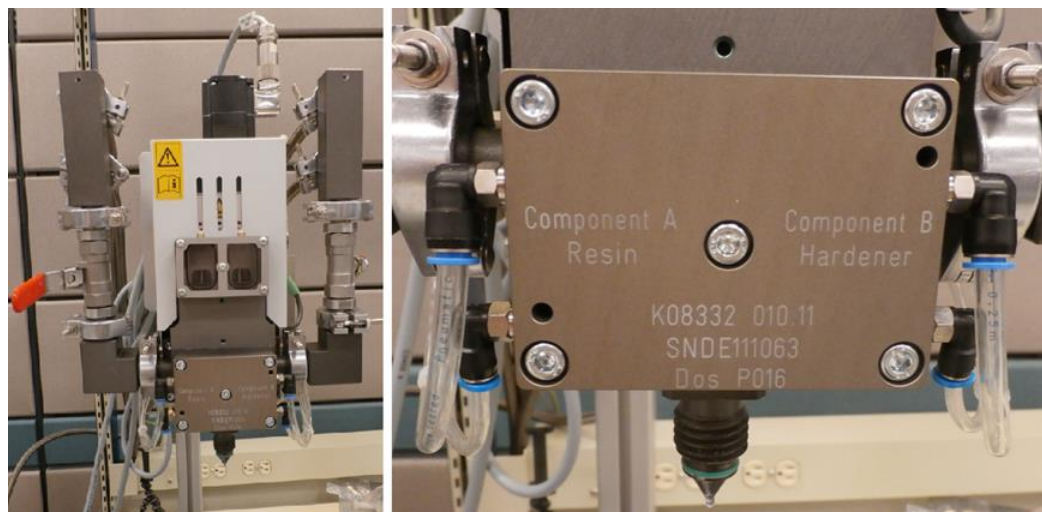


A pottinghoz nagyon hasonló, gyakorlatilag majdnem teljesen megegyező folyamat a casting. A potting végén az öntőforma, amelyben a PCB-t az anyag felvitele előtt elhelyeztük, a termék része lesz. A casting esetében viszont a folyamat végén ezt az öntőformát eltávolítjuk.

### 6.3.1. A potting folyamatának lépései

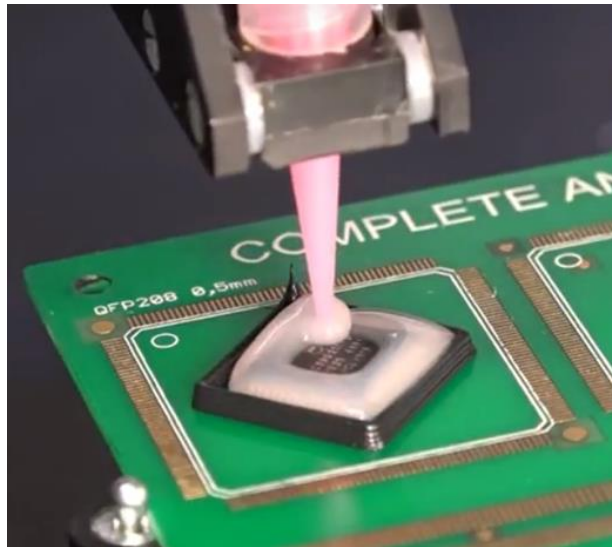
A folyamat négy fő lépésből áll, melyek a következők: (1) a potting anyagának elkészítése, (2) a PCB vagy az alkatrész öntőformába helyezése, (3) az anyag felvitele és (4) az anyag kezelése, megkeményítése.

(1) A potting során használhatunk egy- vagy kétkomponensű anyagokat. Kétkomponensű anyagok alkalmazása esetén értelemszerűen szükséges a két anyag összekeverése a folyamat előtt. Rendkívül fontos, hogy az anyagok keverése megfelelő arányban történjen. Bizonyos diszpenzáló berendezések képesek végrehajtani a keverést is, egy ilyen gép látható a 6. 27. ábrán



6.27. ábra. A potting során alkalmazott diszpenzáló berendezés

(2) Ezt követően az áramköri lapot (vagy ha a potting folyamatot különálló alkatrészekre alkalmazzuk, akkor az alkatrészeket) behelyezzük egy dobozba, egy öntőformába, melyet a folyamat későbbi lépéseinél feltöltünk anyaggal. Ezt a lépést azonban bizonyos esetekben a gyártók kihagyhatják. Ez akkor jellemző, ha a gyártó nem szeretné bevonni a PCB egész felületét a potting anyagával, hanem csak egy adott alkatrész lefedését szeretné megvalósítani. Ezt az esetet mutatja be a 6.28. ábra.



6.28. ábra: A potting alkalmazása különálló alkatrésze

- (3) A folyamat következő lépése a potting anyagának felvitele. A felvitel általában automatikus diszpenzáló berendezések segítségével történik, egy ilyen berendezés látható a korábbi 5.40. ábrán. A potting azonban történhet kézi adagolással is, mely során az anyagot tubusokból visszük fel a PCB-re. Ez tipikusan kisebb számban történő gyártásra jellemző.
- (4) A végső lépés a potting anyagának kezelése, kikeményítése. Ez az alkalmazott anyagtól függően történhet UV fény vagy hő hatására, de léteznek szobahőmérsékleten, levegő hatására megkeményedő anyagok is. Továbbá a kezelés történhet légköri nyomás, illetve vákuum alatt is.

### **6.3.2. A potting folyamat fontos tényezői és lehetséges hibajelenségei**

A potting során létrehozott termék minősége óriási mértékben függ a felvitt anyag tulajdonságaitól. A potting anyagának kiválasztásakor figyelembe kell venni, hogy a termék milyen körülmények között fog működni, milyen környezeti behatásoknak lesz kitéve. Továbbá ahhoz, hogy a folyamat megfelelően működjön, rendkívül fontos, hogy betartsuk az anyagra vonatkozó, gyártó által meghatározott követelményeket.

Fontos, hogy többkomponensű anyagok esetén nagyon pontos arányban keverjük össze az egyes komponenseket, ellenkező esetben megtörténhet, hogy a kezelést követően nem szilárdul meg teljesen az anyag.

Figyelnünk kell arra is, hogy megfelelő mennyiségű anyagot vigyünk fel, ugyanis bizonyos anyagok (általában az epoxi gyanta alapúak) nagy mértékű zsugorodási aránnyal rendelkeznek. Kulcsfontosságú az is, hogy a kezelés során a lehető legnagyobb mértékben betartsuk a gyártó

által előírtakat, az ezektől való eltérés ugyanis számos hibát okozhat. A felvitel előtt szükséges eltávolítani az anyagban lévő esetleges légbuborékokat, ugyanis, ha ezek a felvitelt követően jelen vannak és megszilárdulnak az anyagban, csökkenthetik az anyag védőképességét, illetve belső korrózióhoz is vezethetnek.

*A potting során keletkező leggyakoribb hibák a következők:*

- A kezelést követően az anyag nem szilárdul meg teljesen: Ennek az oka általában az, hogy az anyag egyes komponenseit nem megfelelő arányban keverték össze, de okozhatja ezt nem megfelelő kezelési módszer is.
- A kezelést követően az anyagban repedések jelennek meg: A repedések oka legtöbbször az, hogy a kezelés során eltértünk a gyártó által előírtaktól, például hőre szilárduló anyagok esetében nem megfelelő hőprofilot alkalmaztunk.
- Légbuborékok jelenléte a megszilárdult anyagban: Ennek kiküszöbölésére kétféle módszert alkalmaznak: centrifugálást, illetve vákuummal történő gázmentesítést.
- Adhézió hiánya az öntőforma és a potting anyaga között: Bizonyos esetekben ez a hiba megoldható az öntőforma felületének diszpenzálás előtti előkészítésével, megtisztításával.

## **7. VÉGSZERELÉS – ELLENŐRZÉSEK**

Napjaink modern, közel teljesen automatizált gyártóüzemeiben szükség van a gyártási folyamat rendszeres és állandó ellenőrzésére.

A kihozatal és megbízhatóság növelése megkövetelte az ellenőrzések gépesítését is. A fejlődés eredményeként, a gyártósori robotok munkájának minősítését emberi beavatkozást nem – vagy ritkán – igénylő automatikus ellenőrző berendezések végzik. Az alábbi fejezet bemutatja a gyártói folyamat egyes lépéseinél alkalmazható ellenőrzési lehetőségeket, a szerelőlemezek és alkatrészek kicsomagolásától indulva egészen a szerelőlemezen létrejövő termékek darabolásáig, majd összeszereléséig és csomagolásáig.

### **7.1. ELLENŐRZÉSI ALAPELVEK, STRATÉGIÁK**

A korábban alkalmazott, de mára háttérbe szorult furatszerelési technológia (THT - Through Hole Technology) helyét nagyrészt a könnyebben automatizálható felületi szereléstechológia (SMT - Surface Mount Technology) vette át. A nyomtatott huzalozású lemezekre szerelt áramkörök építésében az SMT térhódítása az alkatrészméretetek csökkenését, az alkatrészek kivezetőinek sokasodását és az alkatrészsűrűség növekedését tette lehetővé.

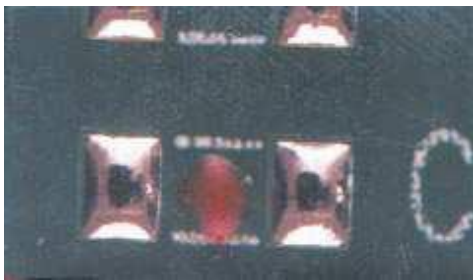
Napjainkban a nyomtatott huzalozású lemezek szereléstechológiája, a szerelt áramkörti részegységek gyártása és sokszor ellenőrzése is teljes mértékben automatizálható. Minden technológiai lépés rendelkezik nagy pontosságú és nagy teljesítményű automata berendezésekkel, még a nehezen automatizálható vegyes szerelésű szerelő lemezek esetén is. Ezeket a technológiai lépéseket kiegészítik még a szerelőlemez és sokszor az alkatrészek egyedi azonosítása, valamint a szerelőlemez továbbítása, melyek szintén automatizálhatók. Az így felépülő gyártósorok nagy termelékenységűek és sokszor folyamatosan (7/24 azaz a hét minden napján 24 órában) üzemeltethetőek. A mai modern beültető-berendezések képesek már több mint 100.000 alkatrészt is elhelyezni óránként és a tizedmilliméteres mérettartományba eső alkatrészeket is biztonságosan beültetni. Ez a sebesség természetesen nem mehet a minőség rovására, sőt az automatizált gyártástól a minőség javulása is elvárt. Ezt a minőségjavulást csak úgy lehet elérni, ha ellenőrizzük az elvégzett folyamatlépések minőségi paramétereit és szükség esetén azonnal módosítjuk az automaták beállításait.

A gyártási és technológiai paraméterek mellett a másik fontos mérés-technikai feladat a végtermék

nem az összeszereléستől függő paramétereinek ellenőrzése és beállítása, ami akár termékenként is eltérő mérési eljárások fejlesztését teszi szükségessé. Hogy hogyan és milyen berendezésekkel lehet ezt megtenni, erről szól a következő két fejezet.

## 7.2. FORRASZTOTT KÖTÉSEK SZABVÁNYOS MINŐSÍTÉSI KRITÉRIUMAI

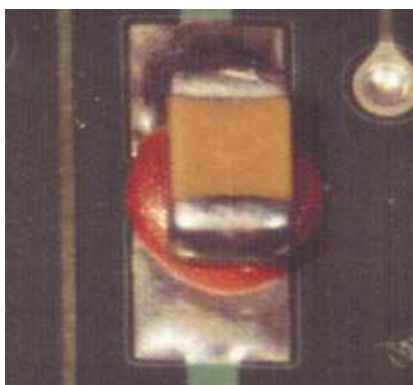
A nyomtatott huzalozású lemezek alkatrészeinek kötéseit, objektív (mérhető) eredményeket szolgáltató automatizált ellenőrző berendezések minősítik. A minősítés objektivitásának alapjait, a mindenhol elfogadott szabványok jelentik, amelyek részletesen tárgyalják, a furat- és felületszerelt, valamint a ragasztott és ragasztás nélkül forrasztott alkatrészek kötéseit iránt támasztott kritériumokat. Az alábbi fejezet az IPC-A-610D szabványban szereplő, felületszerelt alkatrészek minősítési kritériumait mutatja be. A 7.1. ábra a ragasztott, felületszerelt alkatrészek ragasztó anyagának mennyiségére, majd ezt követően a forrasztás minőségére vonatkozó kritériumokat foglalja össze.



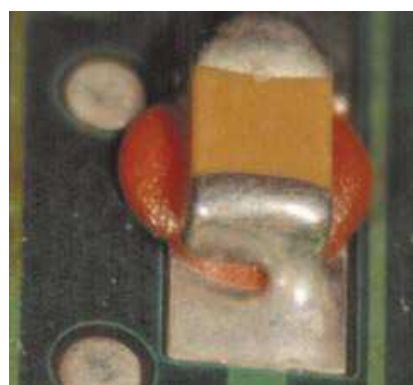
a.) megfelelő mennyiségben és helyre felvitt ragasztó anyag



b.) a forrasztott kötés minősége szempontjából megfelelő, de mennyiségileg sok ragasztó anyag



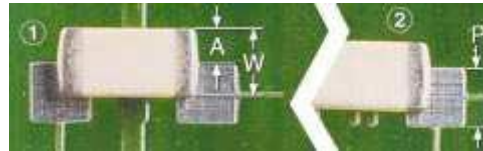
c.) sem a forrasztott kötés minősége, sem a ragasztó anyag mennyisége nem megfelelő



7.1. ábra: Ragasztott, felületszerelt alkatrész minősítési kritériumai:

- a.)
- c.)

Abban az esetben, amikor a felületszerelt alkatrészek nem kerülnek ragasztásra, az SMT technológia sajátja, hogy adott %-os félrehelyezés esetén, a forrasz anyag megömlése során fellépő felületi feszültségek képesek a chip méretű alkatrészt a helyére húzni.



7.2. ábra: Félrehelyezett, forrasztás során helyrehúzó chip méretű, felületszerelt alkatrészek

Chip méretű, felületszerelt alkatrészek egyes és kettős osztályú besorolása esetén az oldal irányú félre helyezés mértéke nem haladhatja meg a felületszerelt alkatrész kontaktus felületének vagy a pad szélességének 50%-át. Ellenkező esetben hibás forrasztás jön létre (7.3. ábra). Három osztályú besorolás esetén, a félrehelyezés mértéke a 25%-ot sem érheti el. Azonosan szigorú feltételek érvényesek a hosszirányú félrehelyezés esetére is – amelyek elmulasztása szintén hibás forrasztást eredményez (7.4. ábra) –, azzal a különbséggel, hogy csak alsó oldali kontaktus felülettel rendelkező alkatrész esetén a hosszirányú félrehelyezés semmilyen formában nem engedélyezett.



7.3. ábra: Oldalirányban félrehelyezett chip méretű, felületszerelt alkatrészek



7.4. ábra: Hosszirányban félrehelyezett chip méretű, felületszerelt alkatrészek

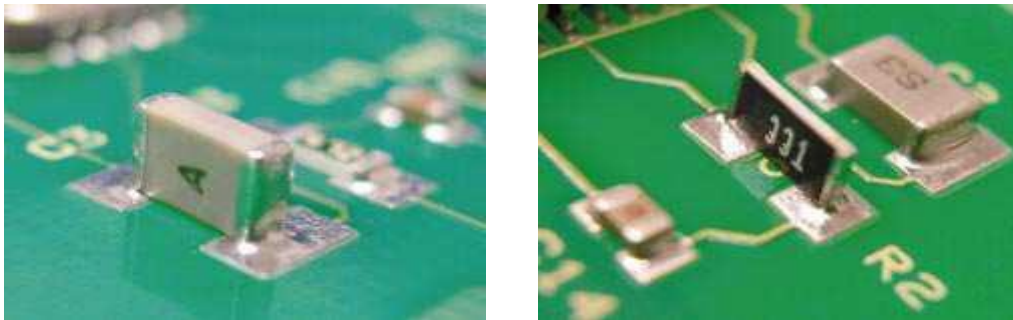


A hosszirányú félrehelyezés és a nem megfelelő forrasztási hőprofil eredményeként alakul ki az úgynevezett sűrű effektus, amikor a chip méretű felületszerelt alkatrészt a megömlő forrasztásban ébredő erők – ellen erő hiányában – kiemelik a nyomtatott huzalozású áramkör síkjából (7.5. ábra).



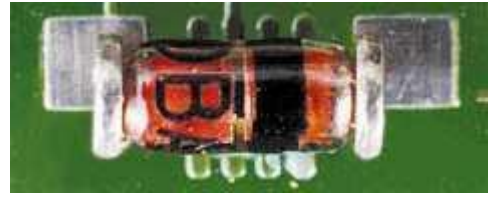
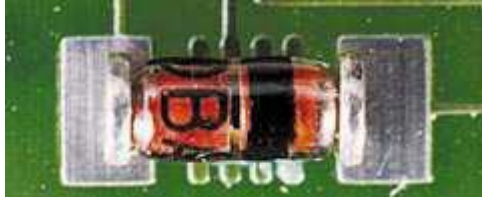
7.5. ábra: Sűrű effektus chip méretű, felületszerelt alkatrészeknél

Az angol szakirodalomban „billboarding” névre keresztelt jelenséget mutatja be a 7.6. ábra, ami alatt többnyire a szalag tárban megbillenő, ezáltal élével beültetésre és forrasztásra kerülő alkatrészeket értjük. Az élükkel beültetett és forrasztott kötések minőségének elfogadási kritériuma, hogy az alkatrész szélességének és magasságának aránya ne haladja meg a 2:1 arányszámot.



7.6. ábra: Élére állt alkatrész: „billboarding

Az IPC-A-610D szabvány a hengeres testű felületszerelt alkatrészek felhelyezésével és forrasztott kötések minőségével kapcsolatban is tartalmaz ajánlásokat, melyeket a 7.7. ábra mutat be.

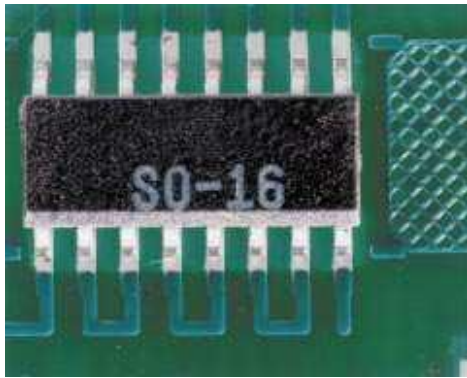


a.) megfelelően beültetett és forrasztott

b.) félrehelyezett és nem megfelelően forrasztott alkatrész

7.7. ábra: Hengeres testű felületszerelt alkatrész minősítési kritériumai:

A chip méretű felületszerelt alkatrészeken kívül, a sirálysárny és a J kivezetésekkel rendelkező alkatrészek esetében is definiálja a szabvány az ideálisan beültetett és a technológia által megengedett mértékű félrehelyezést: egyes és kettes osztályú besorolás esetén ez nem haladhatja meg a kontaktus láb szélességének 50%-át vagy 0.5 mm-t. Háromos osztályú besorolás esetén a félrehelyezés mértéke a 25%-ot sem érheti el (7.8. ábra, 7.9. ábra, 7.10. ábra, 7.11. ábra).



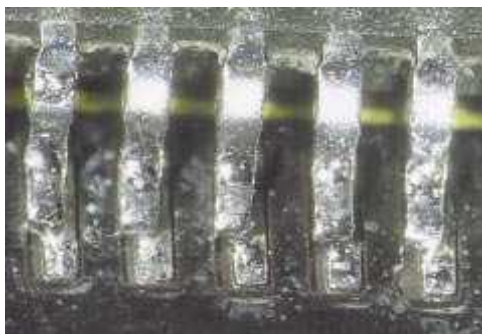
7.8. ábra: Ideálisan beültetett és forrasztott sirálszárny kivezetésekkel rendelkező IC



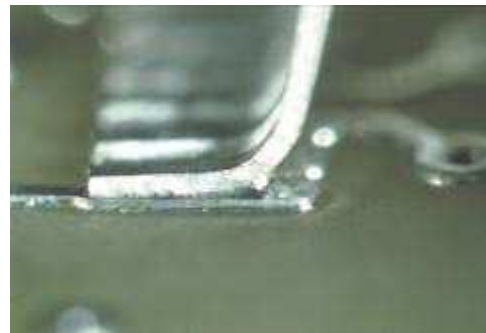
7.9. ábra: Megengedett mértékben félrehelyezett sirálszárny kivezetésekkel rendelkező IC



7.10. ábra: Nem megengedett mértékben félrehelyezett sirálszárny kivezetésekkel rendelkező IC



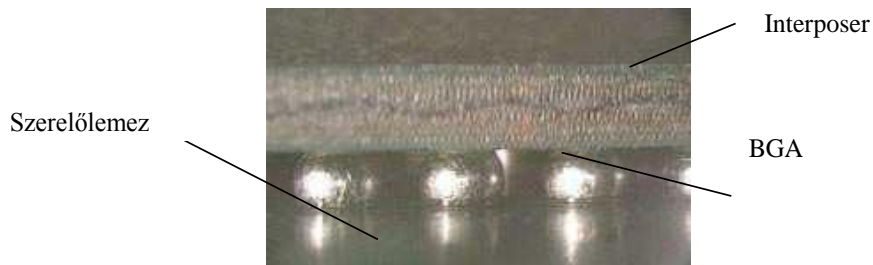
a.) nagymértékű félrehelyezésből adódó hiba,



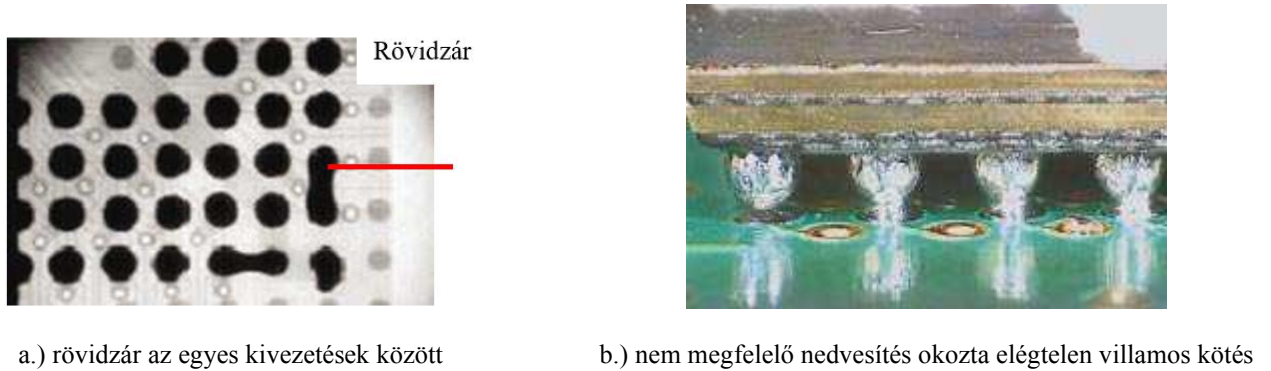
b.) kis mennyiségű forrasztanyagból származó hiba

7.11. ábra: Nem megfelelő forrasztott kötések:

Az eddig bemutatott alkatrészek forrasztott kötéseinek minősítése kivétel nélkül optikai úton elvégezhető. Mindezek mellett a szabvány előírásokat tartalmaz az optikailag nem ellenőrizhető BGA (Ball Grid Array) tokozással rendelkező felületszerelt alkatrészek minősítésére is (7.12. ábra/7.13. ábra).



7.12. ábra: Ideálisan beültetett és forrasztott BGA tokozással rendelkező felületszerelt alkatrész



a.) rövidzár az egyes kivezetések között

b.) nem megfelelő nedvesítés okozta elégtelen villamos kötés

7.13. ábra: Hibásan beforgasztott BGA tokozással rendelkező felületszerelt alkatrész:

Chip méretű felületszerelt alkatrészek félrehelyezése szoros összefüggésben áll a forrasztóanyag nedvesítési tulajdonságával, képességével. Ha egy alkatrész az IPC-A-610D szabvány félrehelyezési kritériumainak meg is felel, a villamos kötés objektív minősítése érdekében a forrasztóanyag nedvesítési minőségi kritériumait is vizsgálni kell (megfelelően beültetett alkatrész esetén úgyszintén). Ez kimondja, hogy a forrasztás során létrejövő meniszkusz szélessége legalább az alkatrész kontaktus felületének vagy a pad szélességének 75%-a kell, hogy legyen.

Mindezek mellett a – megfelelő villamos kötés kialakításának érdekében – az oldal irányú nedvesítésnek az oldalsó kontaktus felület teljes hosszában létre kell jönnie, a nedvesítés magasságának el kell érnie az alkatrész alsó élétől számítva, annak magasságának egyötöd részét. Amennyiben a felfutás meghaladhatja az alkatrész magasságát, de nem terjedhet ki az alkatrész testre elfogadható a létrejött forrasztott kötés.

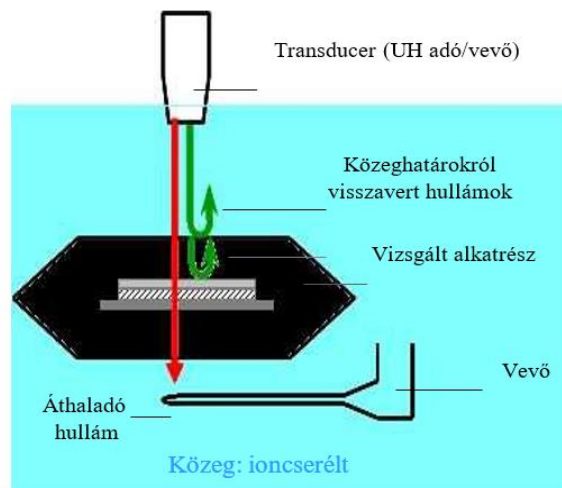


## 7.3. OPTIKAI ELLENŐRZÉSEK, MIKROSKÓPOK

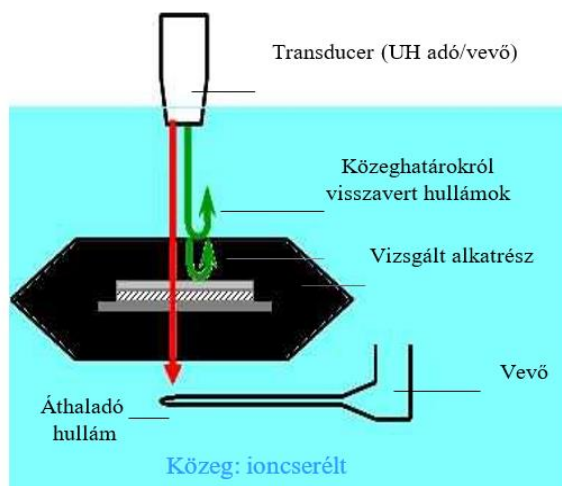
### 7.3.1. Akusztikus mikroszkópia

Az akusztikus mikroszkópia (SAM - Scanning Acoustic Microscopy) a röntgenes vizsgálattal nem, vagy nem jól kimutatható repedések, törések, zárványok roncsolásmentes felkutatásának módja. Az ultrahang 20kHz fölötti frekvenciájú, fókuszálható mechanikai rezgés. Az anyagok azon tulajdonsága, hogy milyen mértékben csökkentik a bennük haladó hang sebességét, az akusztikus impedanciával jellemezhető, ezt mutatja a következő képlet:

$$Z = \rho \cdot v$$

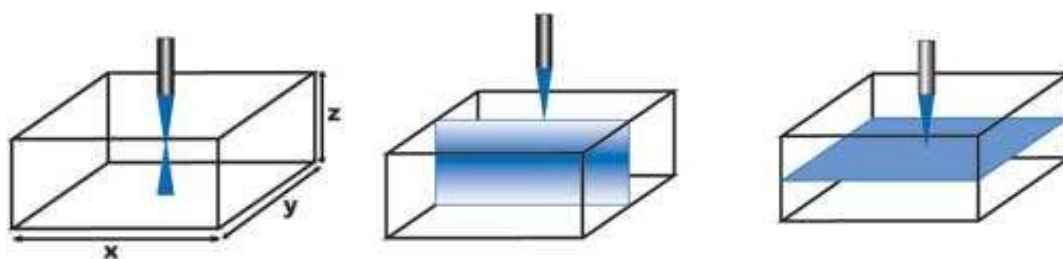


7.14. ábra). A transducerhez (egybeépített adó és vevő) először a leghamarabb visszaverődött hullám érkezik. Az egyes hullámok visszaérkezése között eltelt időt a határfelületek közti távolság határozza meg. Így a visszaérkező hullámok időeltolódásából kiszámítható a határfelületek távolsága, vagyis az egyes anyagok vastagsága.



7.14. ábra: Akusztikus mikroszkóp működési elve

Az első esetben a transducer mozdulatlanul egy fix pont felett állva bocsátja ki és detektálja a beérkező ultrahang nyalábot (7.15. ábra). Ebben az esetben szoftver segítségével tetszőleges hosszúságú időablak definiálható. Az idő ablak hosszával, pedig az átvizsgálandó mélység szabályozható. Második esetben a transducer az X vagy az Y tengely mentén mozog és mélységi pásztázást (Z tengely) végez (7.15. ábra). Ezzel a képalkotási móddal a minta egy függőleges metszete jeleníthető meg. A minta felületéről vagy egy tetszőleges mélységű vízszintes belső síkjáról adhat információkat a harmadik képalkotási mód (7.15. ábra). Ebben az esetben az X és Y tengelyek mentén egyszerre pásztáz. A mélység kiválasztása – akár csak az első esetben – időablak változtatásával valósítható meg.



a.) pontszerű pásztázás      b.) tengely menti függőleges pásztázás      c.) X - Y tengelyek menti mélységi pásztázás

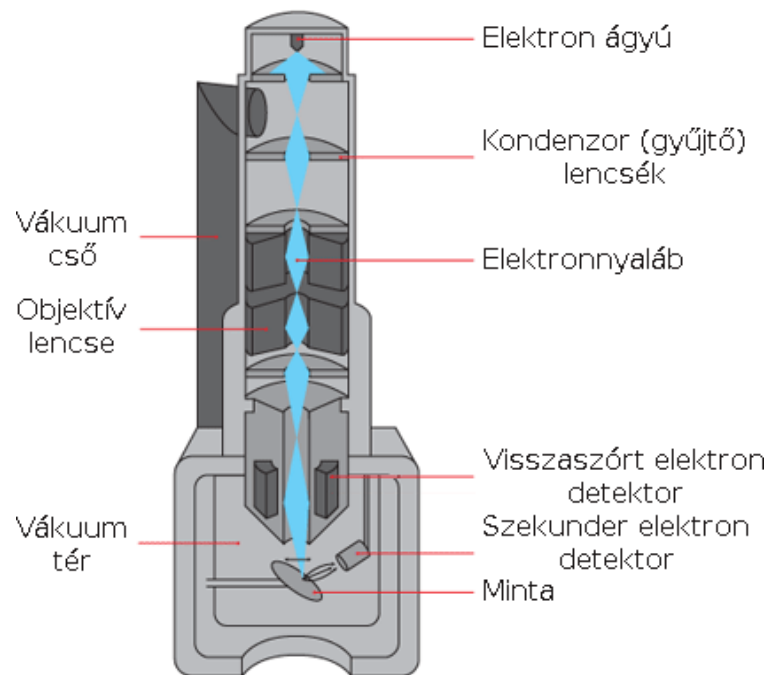
7.15. ábra: Ultrahangos képalkotási módok:

### 7.3.2. Elektronmikroszkópia

A képalkotó eljárások közül a legnagyobb nagyítást és felbontást az elektronmikroszkópiával (EM - Electron Microscopy) lehet elérni, mert a fényhez és a röntgensugárzáshoz képest is az elektron sugárnak kisebb a hullámhossza. Az elektronokat az elektronágyú bocsátja ki, amiket ezután a



vasmagos tekercsekkel keltett mágneses tér fókuszál, illetve téríti el pásztázás céljából. A tekercsek úgynevezett mágneses elektron-lencsék, amelyek az elektronsugarat ugyanúgy képesek módosítani, mint az optikai lencsék a fényt. Az elektronok gázrészecskéken való szóródásának elkerülésére a teljes folyamat vákuumban zajlik. Az elektron detektorok közvetlenül a minta fölött vannak (7.16. ábra).



7.16. ábra: Elektronmikroszkóp felépítése

Az elektronmikroszkópok fő fajtái a transzmissziós (TEM - Transmission Electron Microscopy) és a pásztázó (SEM - Scanning Electron Microscope) elektronmikroszkóp. A transzmissziós típushoz vékony, filmszerű mintát kell készíteni. Itt a mintán áthaladó elektronok alkotják a képet, amely a minta atom- vagy molekulaszervezetétől függ. Ezzel szemben a pásztázó mikroszkóp a minta felületét pásztázza és az arról visszaverődő fényt detektálja, vagy a mintaáramot méri. A mintaáramot a mintára esett, nem visszavert elektronok képezik. Elektronmikroszkópiával csak szilárd, elektromosan vezető anyaggal bevont minták vizsgálhatók. A bevonat lehet arany vagy szén, és feladata, hogy megelőzze a minta elektrosztatikus feltöltődését.

#### *Elektron-anyag kölcsönhatás, képalkotás*

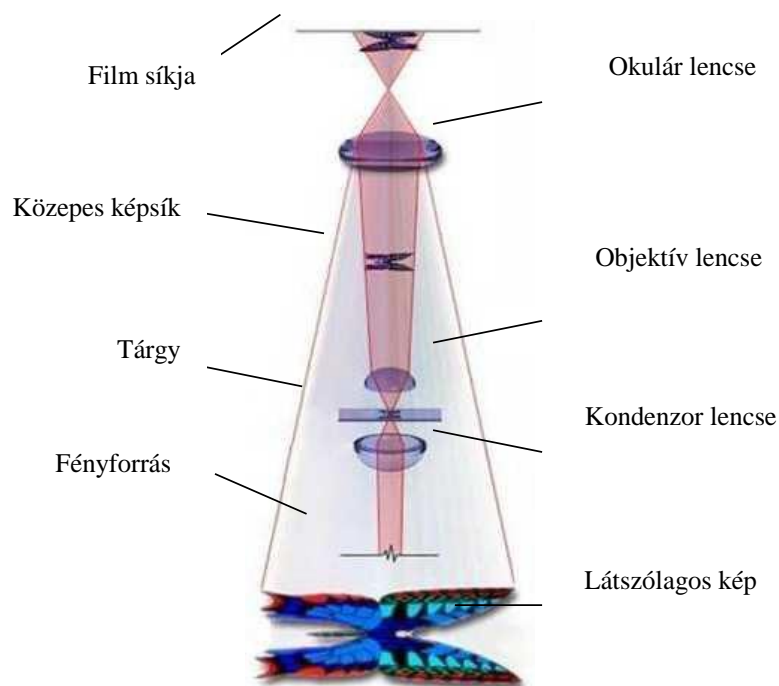
Ha az elektronsugár a vizsgált anyagot gerjeszti, akkor különböző elektron-anyag kölcsönhatásokat figyelhetünk meg. Ezen kölcsönhatások közül a szekunder elektronok, a mintaáram és a visszaszórt elektronok használhatók képalkotásra. A szintén ilyenkor keletkező

röntgensugárzás és az Auger-elektronok az ún. spektroszkópiával az anyag összetételének meghatározására használhatók.

A szekunder elektronok akkor keletkeznek, amikor a minta atomján áthaladó elektron rugalmatlan ütközéssel kiüt egy vegyérték-elektront. A visszaszórt elektronok a minta felületéről rugalmas ütközéssel „visszapattanó” elektronok. A szekunder elektronok távozása után az atomban egy magasabb energiájú elektronpályán levő külső elektron a betöltetlen alacsonyabb energiájú pályára (a szekunder elektron helyére) „esik”. Majd az energiakülönbséget karakterisztikus röntgensugárzás formájában kisugározza. Az Auger-elektronok hasonló módon keletkeznek, itt az energiakülönbség egy másik elektronnak adódik át, ami ennek hatására kilép az anyagból. Az elektronmikroszkópiánál fontos a gyorsítófeszültség precíz beállítása a kép minőségének feldolgozható szinten való tartásához, mivel a gyorsítófeszültség növelése ugyan fényesebbé teszi a képet, de a csökkenti a felbontását és mélységélességét.

### 7.3.3. Optikai mikroszkópia

Az alkatrészek, hordozók és szerelt áramkörök legelterjedtebb és ezért legfontosabb vizsgálati módszere az optikai vizsgálat. Eszköze a fénymikroszkóp, mely több összetett lencserendszerből álló nagyítószervezet.



7.17. ábra: Optikai mikroszkóp felépítése

A kondenzorlencse a fényt vetíti a tárgyra. Az objektív lencse nagyított valódi képet hoz létre (a köztes képsíkban), amit még tovább nagyít a megfigyelő okulárlencse. Az okulárlencse egy nagyított látszólagos képet állít elő (lent), valamint egy kisebb mértékben nagyított valódi képet (legfelül, a film síkjában). Filmet helyezve ide, fénykép is készíthető. Az eredő nagyítást a két nagyítás (okulár és objektív) szorzata adja. A mikroszkóp jellemzője a felbontás, ami a két, még megkülönböztethető pont távolságát jelenti, ezt mutatja a következő képlet:

$$d = \frac{\lambda}{NA}$$

Ahol a felbontás jele  $d$ , a fény hullámhossza  $\lambda$ , a numerikus apertúra pedig az  $NA$ . A felbontás, annál jobb, minél nagyobb a numerikus apertúra értéke, ami a lencse-anyagának a törésmutatójának ( $n$ ) és a fél látószög ( $\theta$ ) szinuszának szorzata, ezt mutatja a következő képlet:

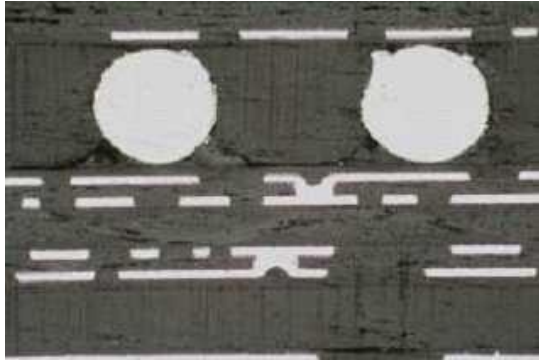
$$NA = n \cdot \sin(\Theta)$$

Az optikai mikroszkóp két fő fajtája a sztereomikroszkóp és a fémmikroszkóp. A sztereomikroszkópnál általában külső megvilágítás használatos, mint például az objektívre erősíthető, gyűrű alakú világító test, melynél a körben elhelyezkedő elemi fémforrások csoportonkénti bekapcsolásával oldalsó megvilágítás hozható létre. Nagy méretű minták vizsgálhatók vele, jó mélység élességgel, de viszonylag kis  $\sim 10$ - $100x$  nagyítással rendelkezik. (A mélységélesség a térben különböző távolságra lévő pontok élessége.)

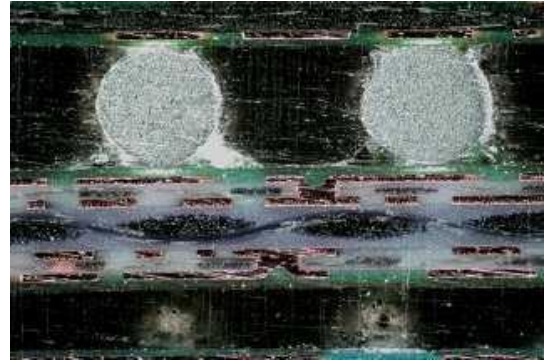
A fémmikroszkóp beépített világítást használ. A nagyítás növelése érdekében az objektív nagyon közel (néhány mm-re) vihető a mintához. Nagy nagyítással ( $\sim 50$ - $1000x$ ) vizsgálhatók vele minták, például keresztmetszeti csiszolatok. A fémmikroszkóp több objektív lencserendszert tartalmaz, minden nagyításhoz egyet. A tubusok kiválasztása körbe forgatható tárcsával történik.

### 7.3.3.1. *Optikai képalkotási módok*

A hibák jobb azonosításához fémmikroszkópnál két fő megvilágítási mód használatos, a világos látóterű (BF - Bright Field) és a sötét látóterű (DF - Dark Field).



a.) világos látótér



b.) sötét látótér módban

7.18. ábra: Keresztmetszeti csiszolatról készített fémmikroszkópos felvétel:

Világos látóterű megvilágítási mód esetén a megvilágító fény ugyanazon az úton halad a tubusban, mint a mintáról érkező fény, sötét látóterű megvilágítást alkalmazása esetén a megvilágító fény útja nem egyezik meg a mintáról érkező fény útjával (7.18. ábra). A fémmikroszkópba beépített világítás (reflexiós megvilágítás) elve, hogy egy félig-áteresztő rétegen átirányítva a fényt egyszerre juttatja az objektívbe és az okulárba.

#### **7.4. AUTOMATIKUS OPTIKAI ELLENŐRZŐ BERENDEZÉSEK**

A forrasztott kötések minőségét korábban szemrevételezéssel ellenőrizték (MVI - Manual Visual Inspection), azonban a manuális vizsgálat hátránya a szubjektivitás mellett, hogy korlátai (alkalmazhatósága) szűkebbek, mint az automatizált gépeké. Az 1950-es években európai és amerikai felmérések kimutatták, hogy vizuális minőségvizsgálat során a vizsgálatot végző technikus 10-15 perc múlva nem tudott megfelelően koncentrálni. A szem élessége pár perc pihenő után visszatért, de néhány perc munka után ismét leromlott. Ahogy az alkatrészek egyre kisebbek, precízebbek és pontosabbak lettek, az ellenőrzésükhöz használt mikroszkópok, nagyítók, optikai összehasonlító is egyre elterjedtebbek lettek. A fejlődés egyre nagyobb nagyítású és felbontású optikai vizsgálatot igényelt és az ipar elérte, majd nagyságrendekkel továbblépett a manuális ellenőrzés képességein és lehetőségein.

A digitális számítástechnika, a gépi látás és a képfeldolgozás rohamos fejlődése miatt kézenfekvőnek látszott a folyamat automatizálása különböző nagyfelbontású kamerák, újfajta megvilágítások és hatékony képfeldolgozó algoritmusok segítségével.

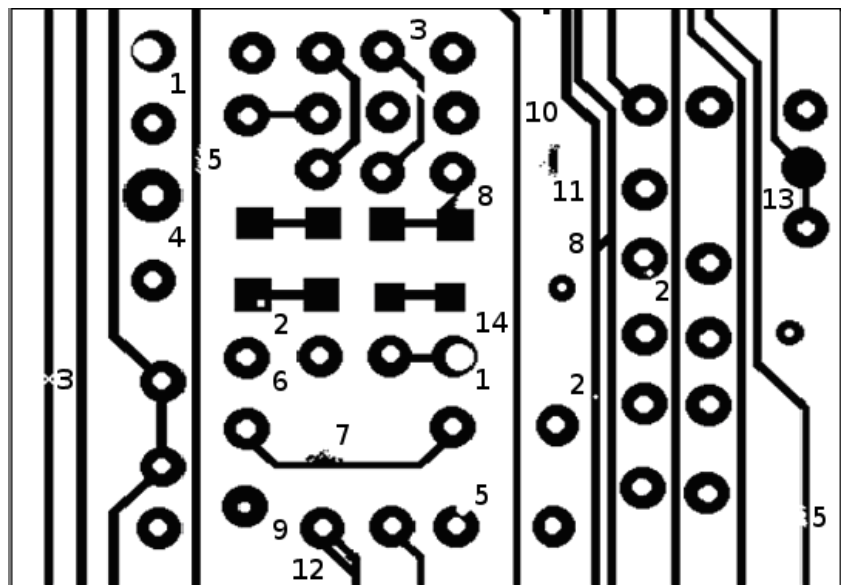
Az AOI (Automatic Optical Inspeccion) a nyomtatott huzalozású lemezek szereléstechológiájában olyan objektív eredményeket szolgáltat, a digitális gépi látás és képfeldolgozás módszereit alkalmazó folyamat, amely a szeretlen és szerelt nyomtatott huzalozású lemezek, automatizált optikai ellenőrzését végzi. Gyorsabb, pontosabb és olcsóbb, mint a manuális ellenőrzés, így nagyrészt mára kiváltotta azt. Működésük során előre elkészített, paramétereizhető vizsgálati eljárásokat használnak, amelyek segítségével a digitalizált képeket kiértékelik, és ennek alapján minősítik az ellenőrizni kívánt alkatrészt vagy forrasztott kötést.

A kisebb volumenű termelésre szánt AOI rendszerekben általában mindössze egyetlen képrögzítő modul (kamera) található, a fejlettebb változatoknál viszont akár tíznél is több kamerát találhatunk egyetlen berendezésen belül.

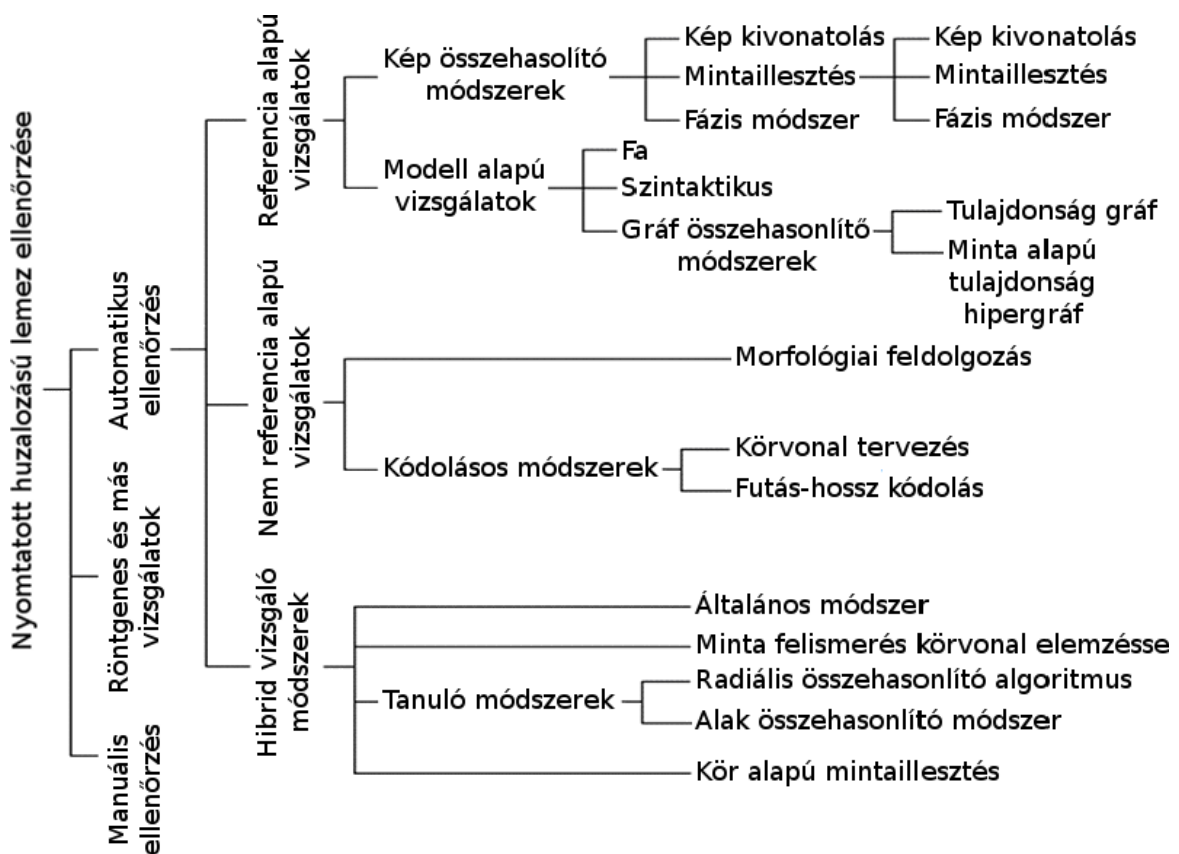
#### 7.4.1. Nyomtatott huzalozású szerelőlemezek vizsgálata

Szeretlen nyomtatott huzalozású lemezek vizsgálatára alkalmas AOI berendezések is rendelkezésre állnak. Ezek a lemezek felületén látható vezetékmintázatot képesek nagy precizitással vizsgálni. A nyomtatott huzalozású lemezek optikai ellenőrzése gyors és megbízható eredményt ad a lemez minőségéről. Az elektromos bemérési módszerek (ICT, flying probe) lassabbak és drágábbak (bár képesek a belső rétegek hibáit is feltárni, ami miatt szinte minden PCB/NYÁK gyártó használja őket). A nyomtatott huzalozású lemezekon sokféle hiba léphet fel (7.19. ábra).

1. Nem megfelelő pozíciójú furat
2. Kiseb vezetékek hiánya
3. Szakadás
4. Alámaródás
5. Vezeték hiánya
6. Hiányzó vezetékek
7. Rézréteg marási hiba vezetéknél
8. Rövidzár
9. Nem megfelelő méretű furat
10. Túl közeli vezetékek
11. Rézréteg marási hiba
12. Vezeték többlet
13. Hiányzó furat
14. Túlmarás



7.19. ábra: A nyomtatott huzalozású lemezekon előforduló lehetséges hibák



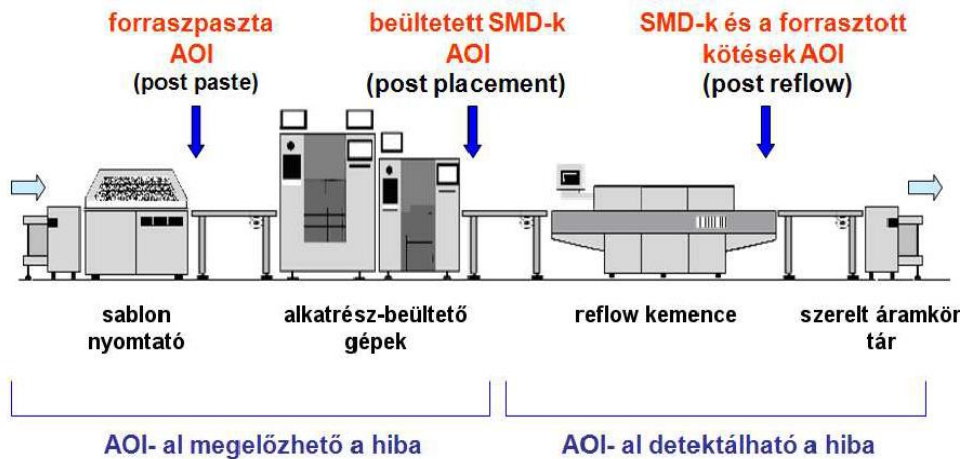
7.20. ábra: Kifejlesztett vizsgálati módszerek

Az AOI berendezések az összes felszíni hibát képesek detektálni. A nyomtatott huzalozású lemezekben a vezető mintázat geometriai hibáinak azonosítására az évek során nagyon sokféle vizsgálati módszert dolgoztak ki. Ezeket a 7.20. ábra foglalja össze.

#### 7.4.2. A felületszerelési technológia lépéseit követő vizsgálat

A felületszerelt nyomtatott huzalozású lemezek szerelésének folyamatában három fázisban van fontos szerepe az AOI berendezéseknek: forraszpaszta felvitele után; beültetés után és forrasztás után (7.21. ábra).



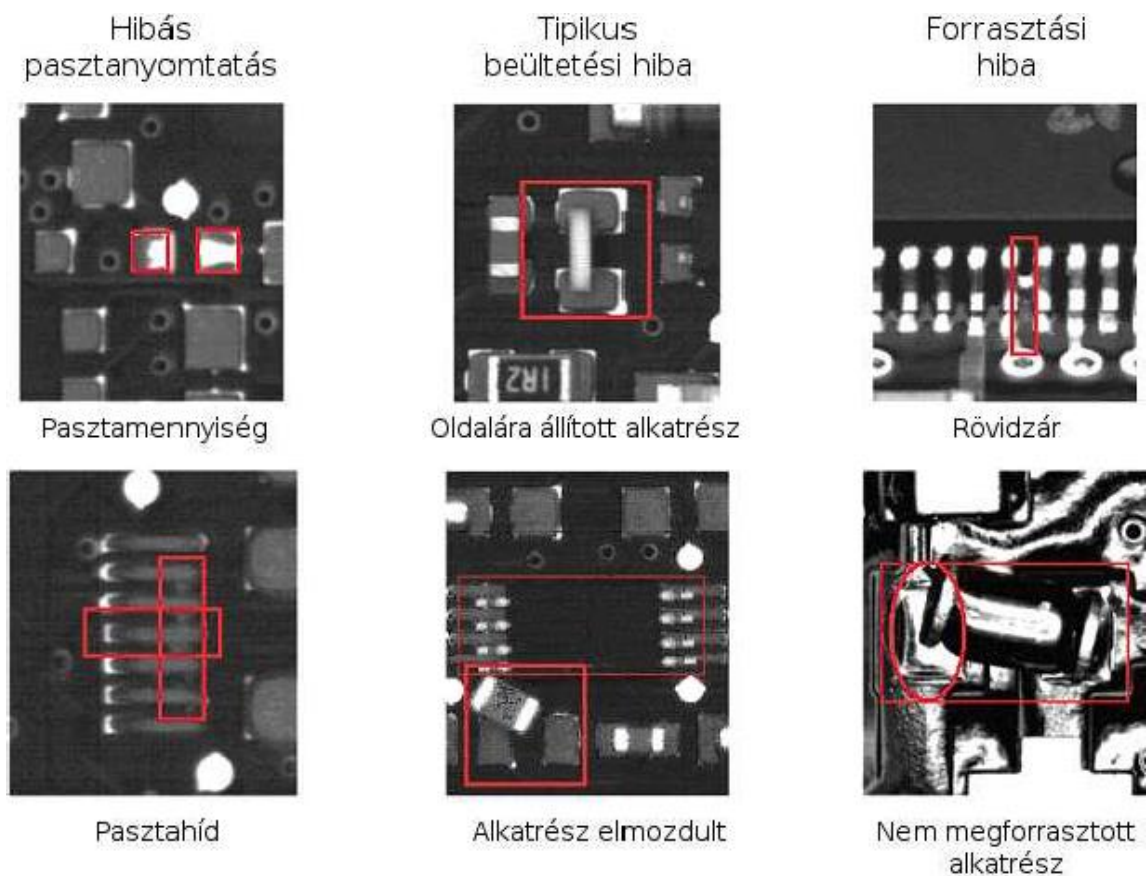


7.21. ábra: Az AOI berendezések lehetséges helye egy automatikus szerelést végző soron

Az AOI-k a forraszpaszta lenyomat minőségét is képesek vizsgálni. Fontos ez a lehetőség, mert ez az a hiba, melyet a legkisebb költséggel, selejtvesztés nélkül lehet javítani. A lenyomat méreteinek mindhárom vizsgálható dimenzióban (szélesség, hosszúság, magasság) az előírt tartományba kell esnie. A forraszpaszta jelenlétének ellenőrzése az egyik legegyszerűbb feladat, ekkor csak a szélességet és hosszúságot, valamint a pozíciót vizsgáljuk. Ezek mérésére fejlesztették ki az úgynevezett SPI (Solder Paste Inspection - forrasz paszta ellenőrző) berendezéseket. Az ilyen speciális, egy lépés vizsgálatára alkalmas berendezések egyszerűbbek és olcsóbbak az univerzális AOI-knál, viszont a kezdetekben nem vizsgálták a forraszpaszta térfogatát, amihez a magasságot (vastagságot) is mérni kell. Ezt általában lézeres szintmérési eljárásokkal oldották meg, amik drágábbak voltak. Mára már kifejlesztettek többféle modern berendezést, melyek lézer, vagy strukturált fény segítségével, nagy pontossággal tudják mérni a paszta méretét mindhárom dimenzióban, így megfelelő alternatívát jelenthetnek a forraszpaszta lenyomat vizsgálatának területén.

Egyes gyártók szerint nagyon fontos a forraszpaszta felvitele után ellenőrizni a paszta elterülését, egyenletes eloszlását a kontaktusfelületeken, mert ez döntően befolyásolja a forrasztott kötések minőségét. Így még időben kiszűrhetők a hibák, mely nyilvánvalóan költségmegtakarítást jelentenek. Más megfontolás szerint nem olyan lényeges a forraszpaszta felvitele után ellenőrizni, hanem elegendő ezt megtenni az alkatrészek beültetése után. Ezzel azonnal kiszűrhetők a pasztázási hibák mellett, a beültetési hibák is, amik alkatrész hiány, rossz pozícióban való elhelyezkedés, fordított polaritással való beültetés stb. lehetnek. Abban azonban a legtöbb gyártó egyetért, hogy a forrasztás utáni optikai ellenőrzés stratégiaileg kihagyhatatlan. Legkésőbb ekkor, ki kell szűrni a hibás darabokat, mivel sok hiba a forrasztás során keletkezik vagy válik

felismerhetővé. Mindenesetre, a legkorszerűbb képfeldolgozási eljárások segítségével már számos megoldás született, és az AOI-k gyakorlatilag a beültetett alkatrészekre vonatkozó legtöbb adatot objektíven mérni tudják. Megméri az alkatrész helyzetének minden jellemzőjét (eltolódás, elfordulás, polaritás stb.), a felvitt forraszpasztta mennyiségét, a forrasztások minőségét (a forrasztóanyag felfutására jellemző meniszkusz tulajdonságait), ha van felirat az alkatrészen, akkor azt is leolvassák, és azonosítják még akkor is, ha egy alkatrésznek több eltérő kinézetű és feliratú alternatív típusa van. Ennek eléréséhez már nem elegendők azok az adatok, melyeket egy szokásos tervezéshez használt alkatrész könyvtár tartalmaz, hanem saját könyvtárakat kell kialakítani a vizsgálatokhoz. Ennek alapja azonban továbbra is a tervezőrendszerekben használt adattár vagy könyvtár a fölösleges munka elkerülése érdekében. Az elvégzendő feladatok (vizsgálati pontok) programozásának alapjául is a CAD rendszerekből kinyerhető beültetési és alkatrész adatok szolgálnak.



7.22. ábra: Példák nyomtatott huzalozású lemezek szereléstechológiájának hibáira

Ezzel gyakorlatilag – feltételezve, hogy a felhasznált alkatrészek hibátlanok – nagyon nagy valószínűséggel bizonyíthatják az áramkör helyes működését, lényegében helyettesítve az alap tűágyas (ICT/MDA) méréseket. Ugyanakkor azzal, hogy többnyire egy statisztikai kiértékel

szoftverhez (SPC) is kapcsolódnak, nagyon sok információt nyújtanak a technológia beállításához, ami így egy szabályozott folyamathoz vezethet.

Az AOI-knak több speciális változata is létezik, melyek az áramköri részegységek gyártásának más szekvenciáit is képesek ellenőrizni. Ezek a mikro-huzalkötés létrehozása, a beültetett félvezető chip ellenőrzése, illetve a kész egységek tokozását, feliratait ellenőrző OOE-k (Objective Optical End Test - objektív optikai végteszt).

Az AOI-k hátránya, hogy nem tudják az optikailag nem látható forrasztási kötéseket vizsgálni (például a BGA alkatrészek), valamint működésük során a vizsgálatok paraméterei nem állíthatók be tökéletesen, így olykor nem detektálják a létrejött hibákat, ezt hívjuk átcsúszott hibának. Ezek az AOI-k működése során a legnagyobb funkcionális hibák, mert ekkor nem teljesítik a feladatot, amire tervezték őket. Az átcsúszások számát nulla értéken kell tartani, bekövetkezésükkor alapos vizsgálat szükséges a kiküszöbölésükhöz és további megelőzésükhöz. Többször előfordul azonban, hogy az előírások szerinti megfelelő vizsgált részt hibásnak jelzik.

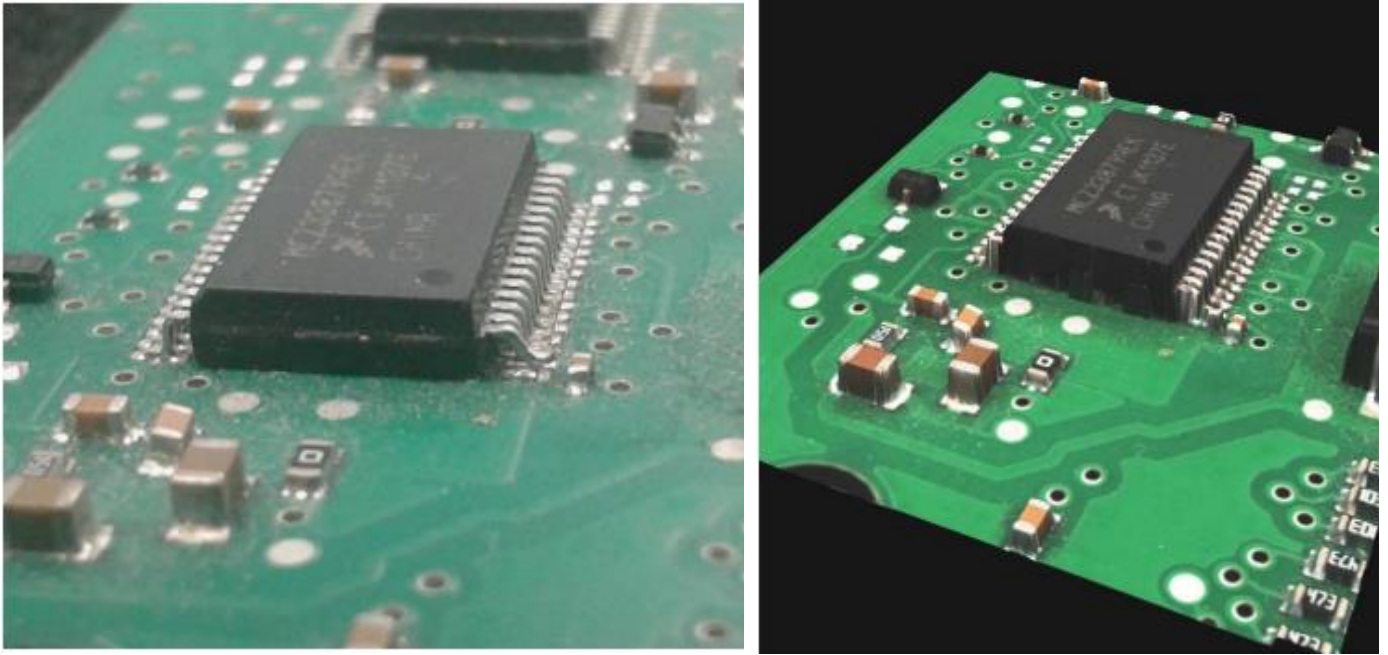
Ezek az úgynevezett pseudo-hibák, vagy hibás riasztások, amelyek csökkenthetik a kihozatalt, így számukat szintén nullához kell közelíteni.

Hátrányuk még, hogy termelékenységben a mai modern gyártósorok szűk keresztmetszetei, mert a felhasznált célszámítógépek ellenére sem tudnak olyan ütemben teljes lemezeket vizsgálni, mint ahogy azok érkeznek az összeszerelő sorról. Egyik megoldás lehet, hogy több berendezést egymás mögé helyeznek, és a vizsgálatokat elosztják az AOI-k között, azonban ennek súlyos anyagi vonzatai is vannak, amit mindig mérlegelni kell.

#### *7.4.2.1. 3D AOI*

2014-ben jelentek meg a tömeggyártásban is használható 3D AOI berendezések. A nevéből adódóan ezek a gépek a képalkotást, elemzést már nem csak felülnézeti (2 dimenziós) úton végzi, hanem valódi 3 dimenziós felvételt készít. A módszer előnye, hogy a kiértékelés nagy része mért értékeken alapszik, a téves döntések aránya jobb, mint a 2D AOI-k esetében.

A 3D AOI képes az alábbi hibákat detektálni: hiányzó alkatrész, elcsúszott alkatrész, megemelkedett láb (vagy teljes alkatrész), polaritás, forraszhíd, forraszhiány. Emellett képes az integrált áramkörökön található karakterek felismerésére, valamint az idegen anyagok detektálására is. Az 7.23. ábra jól látható a megemelkedett IC láb és kerámia kondenzátor.



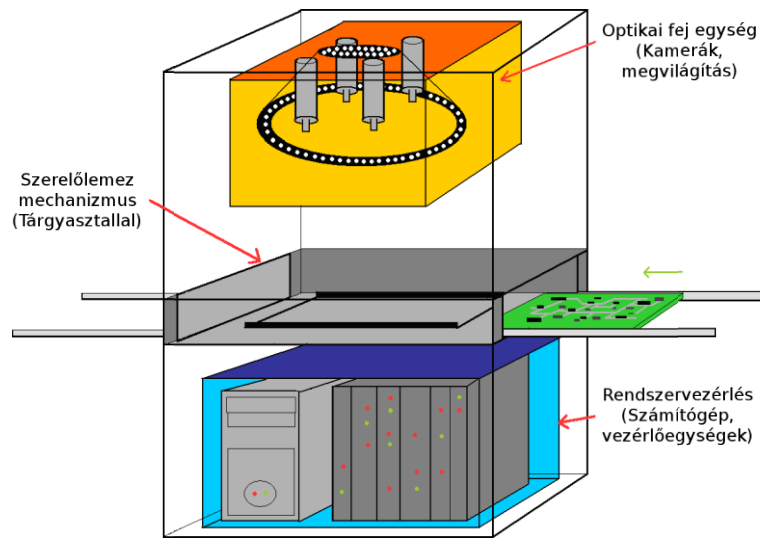
7.23. ábra: 3D AOI általi rekonstrukció

### 7.4.3. Az AOI-k általános felépítése

Az AOI-k minimálisan a mozgató rendszerből, az optikai egységből és a központi vagy vezérlő számítógépből állnak. A vezérlő számítógép végzi a rendszer elemeinek összehangolását, a mintavett képek feldolgozását és tárolását, a szintén itt tárolt alkatrészkönyvtárak alapján. Amennyiben ez szükséges egy központi gépre is továbbítja a mérési eredményeket, hogy ott kiértékeljék azokat, és a statisztikai eredmények alapján változtatni lehessen a gyártási folyamat beállításain (SPC - Statistical Process Control - statisztikai alapú folyamatszabályozás). A mozgatórendszer feladata, a beérkező lemez elhelyezése és rögzítése a tárgyasztalon, majd a vizsgálat után kivinni a gépből és továbbadni a következő berendezésnek azt. Az optikai fej mindig a vizsgált lemez fölött helyezkedik el, ezt vagy a lemez és tárgyasztal mozgásával és rögzített optikai fej egységgel oldják meg, vagy fordítva. A kamera vagy kamerák lehetnek szürkeárnyalatosak, és színesek is. Az előbbi előnye, hogy kisebb méretű képeket készít, melyek tárolása, feldolgozása, továbbítása egyszerűbb (de mindenképpen gyorsabb), viszont információtartalma természetesen kisebb. Az optikából is használnak több különböző fajtát, hogy az éppen legkedvezőbb beállítást teremtsék meg a hibátlan vizsgálatához.

Az optikai rendszer az egyik legfontosabb része a berendezésnek, melynek kiválasztására nagy

hangsúlyt kell fektetni, hogy az adott lemezt a legmegfelelőbben lehessen vizsgálni (7.24. ábra).



7.24. ábra: Az AOI-k általános felépítése

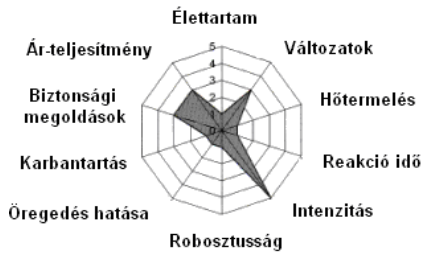
A már említett optikai fej egység alatt a kamerák és a megvilágító rendszer együttesét értjük. Feladata a megfelelő megvilágítás biztosítása, illetve a digitális képkészítés. A kamerákban található érzékelők CCD (Charge Coupled Device - töltéscsatolt eszköz) vagy CMOS (Complementary Metal -Oxide-Semiconductor - komplementer fénoxid félvezető) alapúak. Felbontásuk 0,7 - 16 megapixelig változik. Az alkalmazott kamerák és megvilágítások száma és típusa berendezésfüggő, nézetük lehet merőleges (ortogonális), vagy valamilyen szög alatti (általában 20-60° közötti).

Az optikailag lehetséges megvilágítások: látható fény (vagy bármely spektrális összetevője), infravörös fény, ultrabolya fény, polarizált fény. A lehetséges megvilágítási technikákat a 7.1. táblázat tartalmazza.

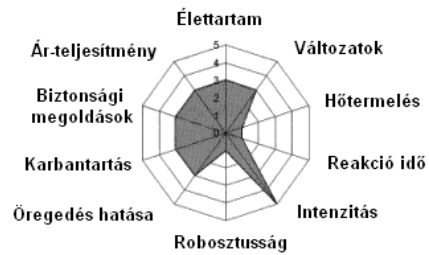
7.1. táblázat: Lehetséges megvilágítási technikák (AOI esetében alkalmazott: aláhúzással kiemelt)

Fény iránya	<u>Közvetlen megvilágítás</u>		Háttérvilágítás	
	<u>Fényes látóterű</u>	<u>Sötét látóterű</u>	Fényes látóterű	Sötét látóterű
Látóter karakterisztika	<u>Szórt</u>	<u>Szórt</u>	Szórt	Szórt
Irányítottági tulajdonságok	<u>Közvetlen</u>	Közvetlen	Közvetlen	Közvetlen
	<u>Telecentrikus</u>	-	Telecentrikus	-
	<u>Strukturált</u>	-	-	-

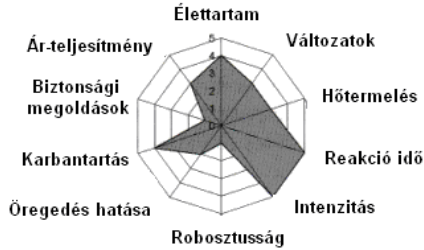
### Hidegfényű halogén lámpa



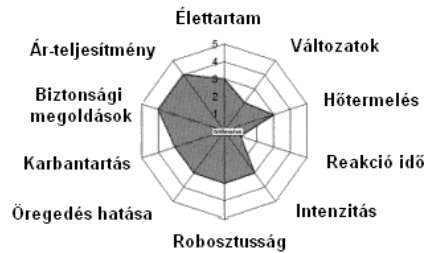
### Hidegfényű fém gőz lámpa



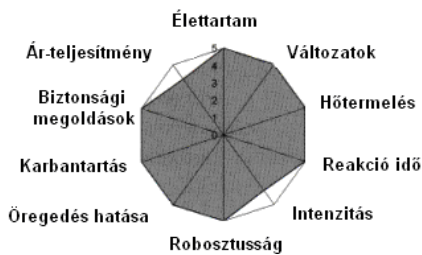
### Hidegfényű xenon lámpa



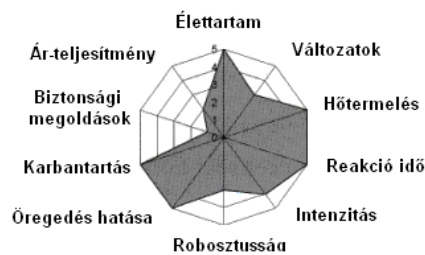
### Fluoreszcens lámpa



### Fénykibocsátó dióda (LED)



### Lézer dióda



7.25. ábra: Megvilágító eszközök összehasonlítása

#### 7.4.4. Összehasonlítás ellenőrző-berendezés típusa szerint

Az általános gyakorlat az, hogy optikai vizsgálóberendezéseket a gyártási folyamat több szakaszában is használnak. Ez azzal az előnnyel jár, hogy minél korábbi szakaszban észlelünk hibát, annál több főlegesen végrehajtott folyamatlépést spórolunk meg (ezzel időt és pénzt is spórolunk), másrészt, ha a gyártás hibásan elvégzett szakasza visszafordítható, akkor viszonylag kevés panelterheléssel ki is javíthatjuk, majd újra visszaküldhetjük a gyártósorra az adott eszközt, ami a selejtarányunkat javítja.

- Üres nyomtatott huzalozású lemez ellenőrzés (bare board)
- Mikro-huzalkötés (wire bonding) vizsgálat
- Forraszpasztta vizsgálat (SPI - Solder Paste Inspection)
- Beültetés vizsgálata (Pre Solder Inspection)
- Forrasztás vizsgálata (Post Solder Inspection)
- Végso szerelés vizsgálata (OOE - Objective Optical End Test)

Az optikai ellenőrző berendezések nem képesek egyszerre nagyobb felületet beolvasni (általában



pár cm oldalhosszúságú téglalap). Ezért az AOI-k tervezőinek meg kellett oldaniuk, hogy a teszt példány és az optikai egység relatív elmozdulásával több lépésben digitalizálhassuk a szerelőlemez képét.

Az alsó kategóriás, kissorozatú gyártás segítésére tervezett asztali (off-line) rendszereknél az általános megoldás erre az, hogy a szerelőlemez mozgató egység y irányban, az optikai fej x irányban mozog, és a vizsgálandó áramköri lapot az operátornak manuálisan kell be- illetve kihelyeznie.

Az online, azaz sorba építhető gépek esetében az a gyakorlat, hogy az optikai fej fix helyzetű, a szerelőlemez mozgató mechanika pedig bármilyen irányú elmozdulásra képes, vagy fordítva. Ezeknél a gépeknél a nagy átérésztőképesség a cél, ezért a letapogatás és képfeldolgozás sebességén túl nagyon fontos szerepet kap a tesztelendő eszköz továbbításának sebessége is. Ezért a középkategóriás gépek már rendelkeznek in-line üzemmóddal, tehát beépíthetőek a gyártósorba. Ilyen esetben a lemezeket futószalagok továbbítják az AOI és a szomszédos gépek között. A „hagyományos” készülékek egy szállítópályával rendelkeznek, melynek az a hátránya, hogy az optikai egységnek minden egyes vizsgálandó szerelőlemez beérkezésénél arra kell várnia, hogy azt a továbbító rendszer a megfelelő pozícióba helyezze. Nagy sorozatoknál ez sajnos már jelentős veszteséget jelent.

Néhány éve kezdtek el megjelenni olyan optikai tesztelők, melyek segítségével két, teljes mértékben összeszerelt (forrasztott) áramköri lap egy időben történő, párhuzamos, teljes körű vizsgálata is megoldható. Az ilyen ellenőrző berendezések két szenzor (kamera) modullal rendelkeznek, így egyszerre képesek ellenőrizni két kártyát. Ezen túlmenően, a két beépített szállítópálya alkalmazása lényeges mellékidőt takarít meg, amely egyébként az áramköri lapok mérési pozícióba állításához szükséges lenne. A be- és a kimeneti oldalon a berendezésbe integrált keresztirányú pályaváltó egység (shuttle) szállítja a paneleket az egyik pályától a másikig és vissza, így erre a feladatra nem kell külső sorelemet beállítani. A két áramköri lap ugyanazon a szállítópályán kerül ellenőrzésre, egy időben. A két szállítópályán kettő-kettő, összesen négy ellenőrzési hely van, a két kameramodul a két pályára merőlegesen mozogva változtatja a helyét. Az átérésztőképesség növelését – megduplázását – az teszi lehetővé, hogy amíg az egyik pályán az ellenőrzés folyik, a másik pályáról eltávozik a már megvizsgált két lap, és két vizsgálatra váró érkezik. Amint a folyamatban lévő vizsgálat befejeződött, a szenzormodul átáll a másik pályára, és ott máris kezdi a következő vizsgálatot. A különböző (kisebb) termelési igényekhez való alkalmazkodás végett a berendezésekből létezik még egy köztes változat is. Ezek szintén kettős

szállítópályával és hozzá tartozó pályaváltó rendszerrel készülnek, de ezeket csak egy kameramodul szolgálja ki. A mellékidők megtakarítása révén ez a változat is valamivel gyorsabb, mint az egypályás, egyszenzoros alapmodell.

#### **7.4.5. Trendek, újdonságok**

Az optikai vizsgálók fő fejlesztési irányvonalait a 100%-os hibadetektálás, valamint ezzel egyidejűleg az észlelt pszeudo hibák nullára redukálásának megvalósítása jelenti.

Több gyártó kínál kombinált AOI+AXI rendszereket, melyek egyesítik az optikai és röntgenes érzékelés előnyeit, tovább bővítve ezzel az érzékelhető hibák sorát. E megoldásnak ma már olyan változati is léteznek, melyek egy időben képesek az optikai és röntgensugaras vizsgálatra, ezek az AOXI berendezések.

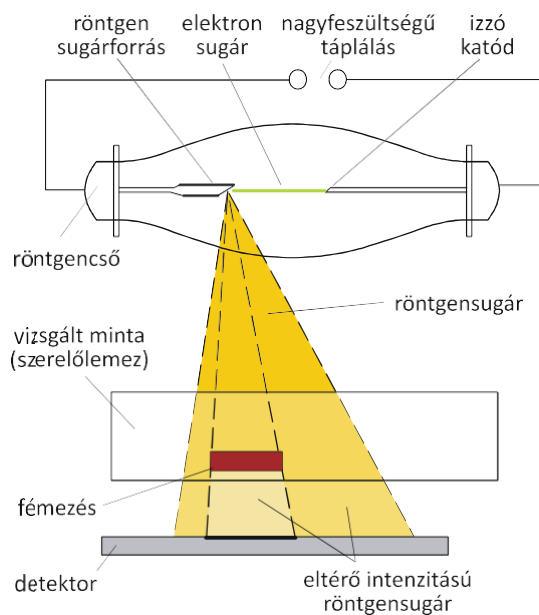
Az elektronikai gyártásban egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek az ipari CT berendezések is, melyekkel a szerelőlemez különböző mélységeiben készíthetünk képeket, virtuálisan „felszeletelve” azt.

Néhány fejlesztő a közelmúltban más szemszögből próbálta megközelíteni az AOI rendszerekkel kapcsolatos jelenlegi hiányosságokat. Tegyük fel, hogy olyan kifinomult ellenőrző berendezéseink vannak, melyekkel minden hibát képesek vagyunk észlelni. Egy igen bosszantó hiányossággal sajnos ebben az esetben is szembe kell néznünk, nevezetesen azzal, hogy mit is kezdünk a forrasztás után detektált selejtes termékekkel. Ezek ugyanis manapság vagy kidobásra kerülnek, vagy kézi forrasztást, esetleg szelektív forrasztási technológiákat alkalmazva (manuális beavatkozással), javítják azokat. A fejlesztőknek a következőképpen küszöbölték ki a problémát: olyan ellenőrző berendezést építettek, melyet kizárólag működő (az optikai ellenőrzés eszközeivel működőnek ítélt) munkadarabok hagyhatnak el, teljesen kizárva ezzel a manuális beavatkozás szükségességét. A rendszer neve AOI+R, azaz az automatikus optikai ellenőrző berendezéssel egybeépített automatikus szelektív hullámforrasztó berendezés.

A berendezésbe helyezett szerelt áramköri lapot nagy sebességű AOI egység képezi le. Ha forrasztási hibát talál, utasítja a szelektív forrasztóegységet a kijavításra, majd újra elvégzi az ellenőrzést. Egyelőre csak offline változata létezik, de az ígéretek szerint el fog készülni az in-line változata is.

## 7.5. RÖNTGENMIKROSKÓPOS ELLENŐRZŐ BERENDEZÉSEK

A röntgensugár elektromágneses hullám, amelynek hullámhossza 10 pikométer és 20 nanométer közé esik. Alapvető előállítási módja, amikor elektronokat gyorsítanak, majd ezeket ütköztetik a céltárggyal (7.26. ábra). Az ütközés során két fizikai reakció hatására alakul ki a sugárzás.

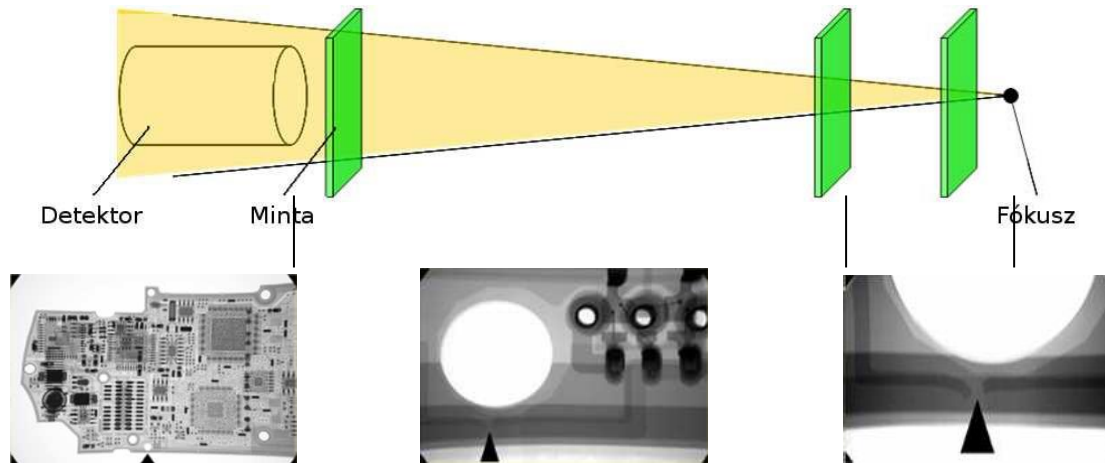


7.26. ábra: Röntgenmikroszkóp felépítése

Az első a fékezési sugárzás, ahol az anódba érkező elektronok lelassulnak az anódban lévő elektronok hatására. Ekkor a beérkező elektronok folyamatosan veszítik el az energiájukat, ezért folytonos spektrumú sugárzás keletkezik. A másik keletkezési mód a karakterisztikus sugárzás, amely elektronok ütköztetésén alapszik. Az elektronhéj bocsátja ki ezt a sugárzást úgy, hogy a katódfeszültséget növelve a kiinduló elektronok az anód belső pályájáról kiütnek egy elektront, amely helyén lyuk keletkezik, ekkor a magasabb energiaszintről egy másik elektron „lép” a helyére és az átugrásnál felszabaduló energia hatására röntgen foton keletkezik.

A röntgenmikroszkópos vizsgálat során az előzőekben említett módon keletkezett sugárzással „világítjuk” meg a vizsgálni kívánt tárgyat. A vizsgált minta – szerkezetétől és anyagától függően – csökkenti a rajta áthaladó röntgen sugárzás intenzitását úgy, hogy a sűrűbb anyagok, jelentősebben, a porózusabb anyagok kevésbé. A geometriai nagyítást a detektor fókuszponttól és a minta fókuszponttól való távolságának a hányadosa adja (7.27. ábra). Röntgen

mikroszkópiával olyan szerkezetek vizsgálhatók jól, amelyek a röntgensugárzást eltérően áteresztő, erős kontrasztot adó anyagból vannak. Ilyenek a fém-műanyag, anyag-folyadék, anyag-levegő struktúrák, mint például a folyasztószert vagy légzárványokat tartalmazó forrasztott kötések.



7.27. ábra: Geometriai nagyítás

A vizsgálandó mintán áthaladó eltérő intenzitású röntgensugárzás a scintillátorra vetül. A rajta lévő, gerjeszhető anyag bevonat – mint például a foszfor – röntgen sugárzás hatására az intenzitástól függően fotoelektronokat, azaz fényt bocsát ki. Ez maga a kép. A scintillátorról jövő fénysugárzás optikán keresztül vagy egy látható fényt kibocsátó másik foszfor réteggel vagy fototranzisztor-mátrix (TFT – Thin Film Transistor) réteggel detektálható. Előbbi esetben analóg, utóbbi esetben digitális kép készül a mintáról. A digitális képet számítógép dolgozza fel, ami ettől a ponttól a szokásos AOI-kban is használt képfeldolgozást jelenti.

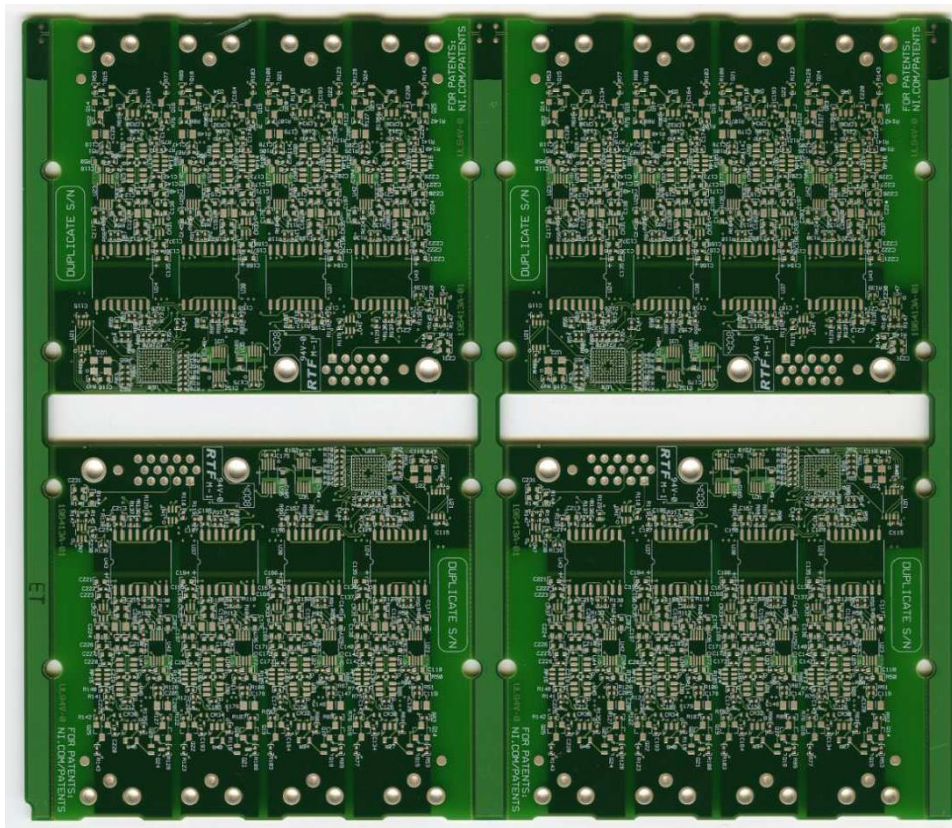
A röntgenes vizsgálatok akkor kerültek előtérbe, amikor megjelentek a különböző CSP és BGA tokozású felületszerelt alkatrészecskék. Ezeken kívül vizsgálhatóak még felületszerelt alkatrészecskék forrasztott kötése, mikro-huzalkötések, a nyomtatott huzalozású lemezek vezetőpályái (belső rétegeken is!), átvezetések valamint elektromechanikai alkatrészecskék is. Azokban az esetekben, amikor az optikai ellenőrző berendezések már nem tudnak (alkatrészecskék alatti és a furatokon belüli viszonyok mérése, gázzárványok érzékelése) méréseket végezni, hiszen szabadszemmel nem látható hibákat keresünk, röntgen ellenőrző berendezéseket (AXI - Automatic X-ray Inspection) használhatunk. Természetesen áruk sokkal magasabb az optikai rendszerekénél, bár alkalmazásaik, képességeik, sőt képfeldolgozó és kiértékelő szoftvereik gyakran azonosak vagy közösek. A röntgen ellenőrző berendezések csak akkor szükségesek, ha más módszer nincs a vizsgálatra. Két alapvető változatuk van, az egyszerű 2D-s rendszerek, amelyek kevés

paraméterűek, de gyorsan tudnak értékelni, és az ún. off-axis megoldások (amelyekkel döntött nézetű képek készíthetők), melyek mozgatása öttengelyű. Ez utóbbiak sokkal pontosabb és biztonságosabb eredményeket nyújtanak, még akkor is, ha a két oldalon beültetett alkatrészek egymást takarják. Viszont működésük lassúbb, nem illeszthetők az SMT sorba, mert akkor, a sor szűk keresztmetszeteként, annak működését korlátoznák. Jelenleg elsősorban az off-line, off-axis megoldások terjedtek el, azok viszont rohamosan, hiszen a forrasztás vizsgálat pontossága és megbízhatósága még a microBGA tokoknál is meghaladja a 95%-ot. A minta vagy a detektor elforgatásával a vizsgált mintáról készíthetők döntött képek is, amik alapján a hibák könnyebben felismerhetők. A két lehetőségből a detektor döntése az előnyösebb, mert így nagyobb nagyítás érhető el. A röntgensugaras megvilágítás mozgatása és döntése mellett készített képsorozat, más-más pozícióból ábrázolja az átvilágított nyomtatott áramköri lemezt. Az így kapott képekből megalkotható a vizsgált terület 3D modellje, és ennek alapján az alkatrészek alatti forrasztások minősége is ellenőrizhető. Fontos jellemző a furatkitöltés, a furatokba felszívódó forrasztóanyag magassága, amit más módszerrel nemigen lehet ellenőrizni. A röntgensugaras 3D ellenőrzést a gyártási folyamat végső fázisában célszerű végezni, kiegészítve a látható fény tartományában végzett optikai ellenőrzést.

Léteznek ún. in-line AXI gépek is, amik automatikus röntgenes ellenőrzést végeznek az összeszerelő sorba beépítve, (in-line AOI-khoz hasonlóan) ezek a hibákat programozhatóan felismerik és a döntési algoritmus alapján a megfelelő szállítószalagon továbbítják.

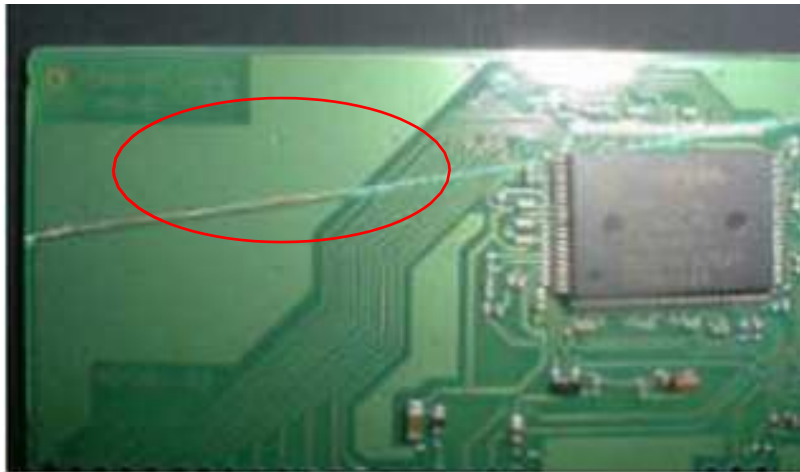
## 7.6. VÉGSZERELÉS – DARABOLÁS

A gyártás során a kihozatal növelése és az összeszerelő sor átállításainak csökkentése érdekében az egyes végtermékhez tartozó lemezeket (PCB/NYÁK) összemontírozzák. Az így létrejött panelek mérete a gyártás számára optimális és független a végtermék méretétől. Az összeszerelő gyártósoron (pasztázás, beültetés, forrasztás...) előnyt jelentő montírozás a folyamat későbbi lépéseinél már akadályozza a termék szerelését és tesztelését, ezért a montírozott és szerelt hordozólemezt feldarabolják a végleges méretűre.



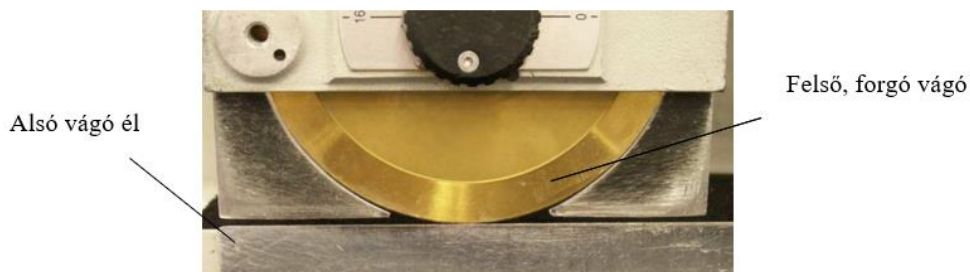
7.28. ábra: Több termék összemontírozott (panelizált) formában





7.29. ábra: Darabolás során megsérült áramkör

A montírozott lemez darabolása történhet in-line vagy off-line módon, vágással, darabolással, tördeléssel, vagy marással. Nagyon fontos megemlíteni, hogy mindenfajta darabolási technológia alkalmazása során különös odafigyelés szükséges, hiszen a nem kellő odafigyelés szinte minden esetben javíthatatlan sérülést, azaz selejtet eredményez! A helytelen darabolási folyamat a szerelt áramkörben a vezetősávok sérülését, alkatrész, illetve lemeztörést, de akár a szerelőlemezen belüli rétegek megsérülését is okozhatja.

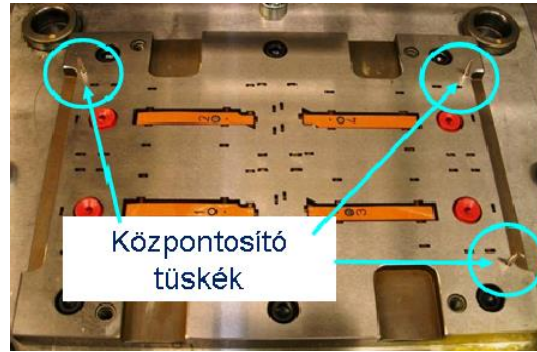


7.30. ábra: Montírozott lemez vágásához használt forgókés

Vágás során a szerelőlemezt merőlegesen az alsó vágó élre helyezve, majd a felső vágó élt működésbe hozva, a perforációt forgó kés távolítja el (7.30. ábra). Vágás közben a terméket tartjuk merőlegesen a vágó élekre és ne mozdítsuk el semmilyen irányba.



a.) vágóprés



b.) illesztést segítő keret

7.31. ábra: Darabolás szerszámai:

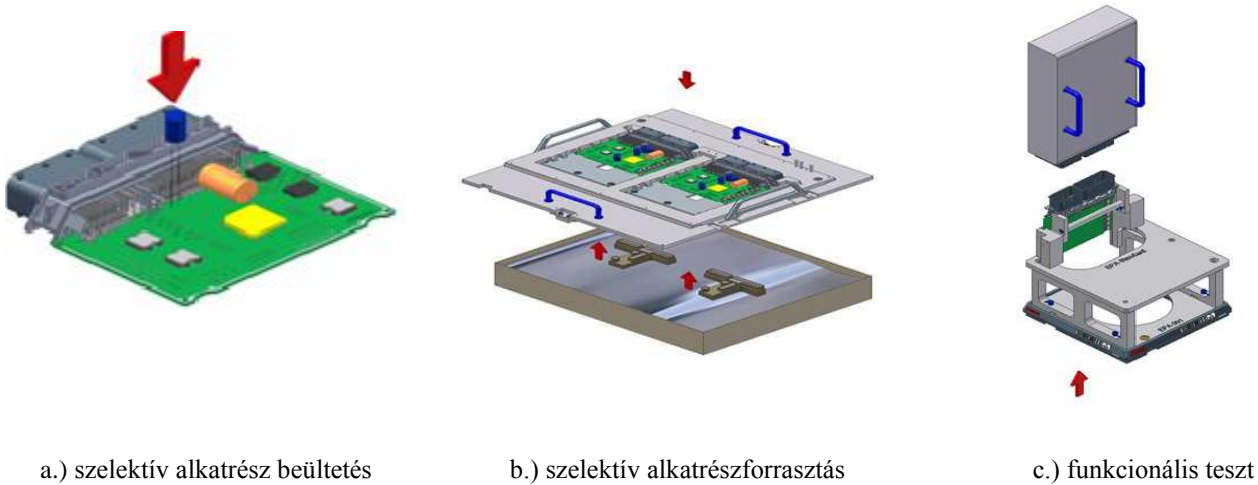
Darabolás során a mozgó tárgyasztallal ellátott daraboló gép a perforációkra illeszkedő vágóprést használva a szerelőlemezeket egyszerre választja el egymástól. A technológia megköveteli a montírozott lemez precíz pozícionálását, amit a tárgyasztalon található központosító tűskék segítenek. Tördelés során a montírozott lemez egy rögzített keretbe kerül. A gyártás során felesleges rész kézzel vagy segédeszköz használatával kerül eltávolításra (letörésre) a perforáció mentén. Az eddig bemutatott technológiák egyik nagy hátránya, hogy a szerelőlemezekben mechanikai feszültség ébredhet, melynek szélsőséges eredményeként a felületszerelt, BGA tokozású és sirálysárny kivezetésű alkatrészek forrasztott kötése elengedhetnek. Magas fordulatszámú CNC marógépeket használva, a perforációkat marófejek távolítják el (7.32. ábra), így a szerelőlemezekben kisebb mechanikai feszültség ébred, ami által a forrasztott kötések minősége is megóvható.



7.32. ábra: CNC marófejek

Darabolás után beültetésre kerülnek azon alkatrészek, amelyeket a beültető gépek vákuum pipettái formájuk és méretük miatt nem képesek megfogni, ilyenek az autóelektronikában is használatos robusztus csatlakozó sorok. Figyelembe véve, hogy ezen alkatrészek beültetését nem automaták

végzik, olyan konstrukcióban készülnek, amelyek csak egyetlen beültetési pozíciót engedélyeznek, csökkentve ezzel a hibázás és selejtes termékek gyártásának lehetőségét. A szelektív alkatrész beültetést szelektív forrasztás, majd optikai ellenőrzés, legvégül pedig funkcionális teszt követi (7.33. ábra).



7.33. ábra: Végszerelés

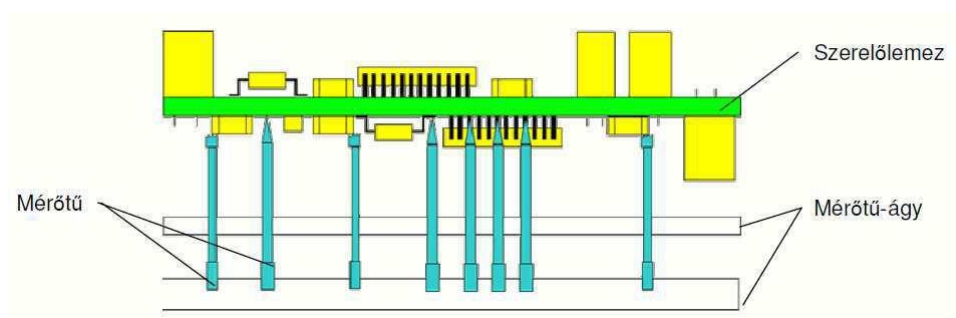
A hibátlan termékek ezt követően megkapják külső burkolatukat. A leendő felhasználási területtől függően ekkor újabb ellenőrzések következhetnek. A vevő által is jól ismert, végső állapotot a termékek matricázásuk és csomagolásuk után nyerik el.

## 7.7. IN-CIRCUIT (ÁRAMKÖRI) TESZTELÉS

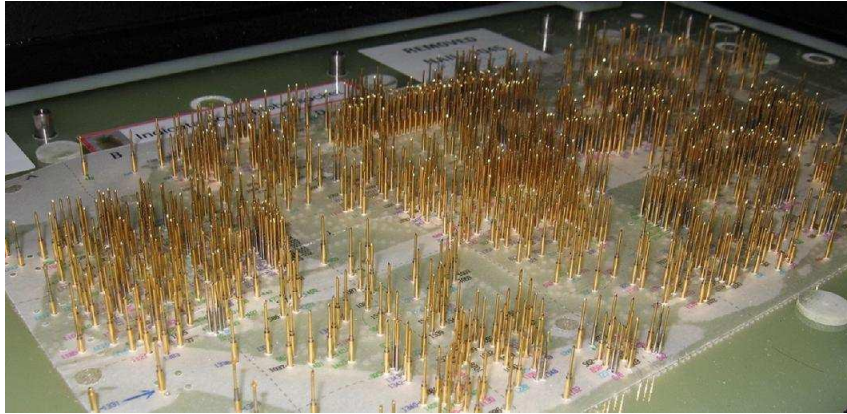
A gyártás minőségének és árának adott szinten tartásához fontos, hogy az áramköri hibákat minél előbb (azaz a folyamat minél korábbi fázisában), lehetőleg a végtermék készre szerelése előtt feltárják. A gyártásközi ellenőrzésben eddig megismert módszerek (AOI, AXI) főként az áramköri hordozó, a forrasztás és a beültetési hibák felismerésére lettek kifejlesztve. Ezek mellett a forrasztás után kiemelkedő szerep jut az ICT (In-Circuit Test – áramköri teszt) eljárásnak, melynek során végrehajtják a beültetett áramköri lemez alkatrész szintű diagnosztikáját.

Az ICT mérési és ellenőrzési képességei lehetővé teszik számos a gyártás és szerelés során keletkező hiba azonosítását, de az alkatrészek működőképességének és bizonyos paramétereinek mérését is. Ezáltal a rövidzárok és szakadások, hiányzó vagy helytelenül beültetett alkatrészek, túréren kívüli, rosszul programozott alkatrészek mind felderíthetők ezekkel a berendezésekkel. A teszteljárás folyamán az integrált áramkörök alapfunkcióinak limitált ellenőrzése is lehetséges, továbbá a tesztberendezés segítségével beprogramozhatók azok a memóriatartalmak, amelyek az áramkör működéséhez nélkülözhetetlenek.

A vizsgálat folyamán az áramkörök erre a célra kialakított mérőpontjaihoz (ha a PCB/NYÁK tervezők erre felkészítették az áramkört) megfelelő villamos csatlakozást biztosító mérőtűk nyomódnak, amelyeken keresztül a tesztelő berendezés vizsgáló jeleket juttat az áramkörökbe és kiértékeli azok válaszjeleit a tesztprogram algoritmusai szerint. (7.34 ábra)



7.34. ábra In-Circuit Test – Áramköri teszt felépítése



7.35. ábra ICT teszt tûágy

Léteznek olyan ICT berendezések, amik kizárólag a gyártási hibák felderítésére lettek optimalizálva (7.35. ábra), ezért általában egy nagyságrenddel olcsóbbak és gyorsabbak is ezen alap funkciók (szakadás, rövidzár, ellenállás, dióda...mérések) mérésére. Ezeket MDA-nak („Manufacturing Defect Analyzer” magyarul „gyártási hiba analizátornak”) szokták nevezni.

### 7.7.1. Tesztberendezések

Az áramköri tesztre alapvetően kétféle tesztelő gép használható:

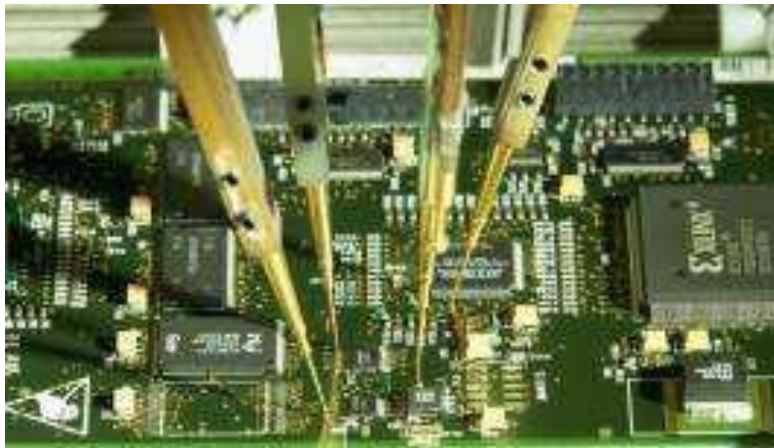
**Standard interfészű tesztberendezések**, ahol az érintkezés az áramköri panel és a berendezés között egy speciális teszt adapteren (fixture) keresztül történik, amelyet minden panelhez egyedileg terveznek és gyártanak le. A megoldás fő erénye, hogy minden tesztpont egyidejűleg elérhető, s ezáltal a tesztidő minimális lesz. Kedvezőtlen viszont, hogy a mérő adapterek egyedi elkészítése jelentősen növeli a költségeket.



7.36. ábra: Flying probe típusú tesztberendezés

**Flying probe típusú tesztberendezések** (7.36. ábra), ahol az érintkezéshez néhány (4 – 8) mobil szondát (érzékelőt) használnak, melyek érintkezést valósítanak meg az áramkörrel. A megoldás kiküszöböli a teszt adapter használatát és rugalmasságot biztosít a tesztprogramok gyors átalakításához, viszont nagyobb tesztelési időt igényel a standard interfészű berendezéseknél. A mérőtűk találati pontossága ennél a megoldásnál sokkal jobb, mint a standard teszt tűké ami általában a beépített kamerás rendszereknek köszönhetően eléri a néhány tized vagy akár mikrométeres pontosságot is. Ennek köszönhetően ezek a berendezések képesek olyan mérőpontokat is „eltalálni” (esetenként akár az alkatrészek forrasztási pontjait használva), amik normál mérőtűs rendszereknél nem elérhetők (7.37. ábra). Sajnos a mérőtűk számának köszönhetően jelentős korlátok adódhatnak az olyan digitális tesztelések során, ahol egyidejűleg nagyszámú csatlakozásra lenne szükség.





7.37. ábra: Mérőtűskék és mérőpontok

## 7.7.2. Az ICT mérési módszerei

### 7.7.2.1. *Guardolás*

Mivel az alkatrészeket egy adott áramkörbe beültetve vizsgáljuk, gondoskodni kell arról, hogy a vizsgáló jeleket és válaszjeleket ne terheljék a mérendő alkatrész környezetében lévő elemek. A **GUARDOLÁS** olyan mérési elrendezés, amelyben a környezeti csomópontokat azonos potenciálra húzzuk a mérendő pontjaink potenciáljával, így kiiktathatjuk a mérést terhelő elfolyó áramokat.

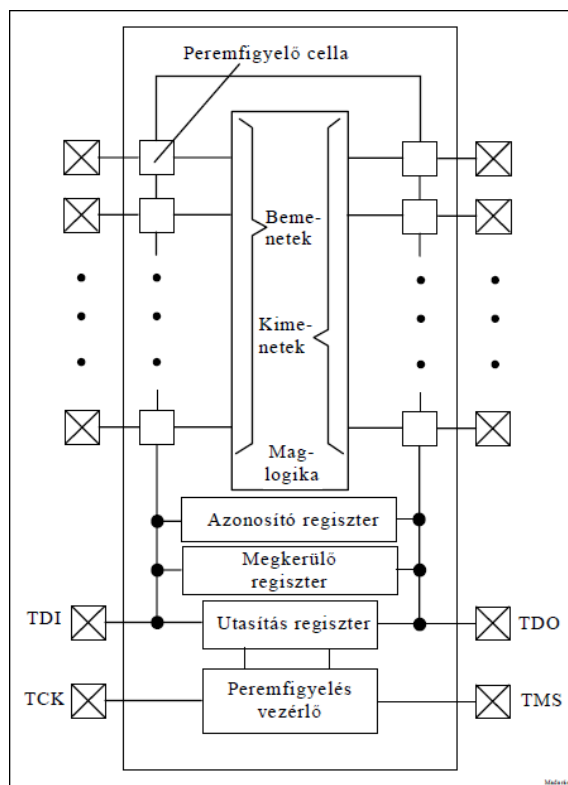
### 7.7.2.2. *Izoláció*

Az aktív áramkörök tesztelésekor gondot jelenthet, ha az áramköri bemenetek meghajtásakor jelentősen terheljük a környező áramkörök kimenetét (**BACKDRIVING** – szembehajtás). Ennek jelenléte, mindenképpen kerülendő, mert az elemeket károsíthatja vagy hosszútávú megbízhatóságukat ronthatja. A szembehajtás elkerülésére a szóban forgó kimeneteket izolálják, azaz nagyimpedanciás (**HIGH-Z**) vagy egy előre definiált állapotba hozzák.

### 7.7.2.3. *Peremfeltétel figyelés (Boundary scan)*

A nagyintegráltságú (LSI) áramkörök tesztelésében szabványosítottak (IEEE 1149.1) egy alapvetően soros eljárást, amely megkönnyíti a hozzáférést az IC kivezetéseikhez. Az áramköröket úgy teszik alkalmassá a “peremfigyelésre”, hogy a chipen az eredeti IC (core, vagy maglogika)

körül még további áramköröket alakítanak ki (7.38. ábra). Minden chip- csatlakozópont és külső láb közé egy peremfigyelő cella kerül, ami összeköthető az IC lábbal vagy a maglogikával, vagy egyszerre mindkettővel (ez a teszten kívüli, normál működési állapot). Az ilyen cellák összefűzésével egy sokbites léptetőregisztert kapunk. A létrejött léptetőregiszter bemeneti pontja a TDI (Test Data In), kimeneti pontja a TDO (Test Data Out) órajele a TCK (Test Clock) jelek, és ezeken kívül egy üzemmódvezérlő pont a TMS (Test Mode Select) kialakítása szükséges. Az így kapott peremfigyelő cellákból kialakított léptetőregiszter rendszerbe tetszőleges tartalmat lehet beléptetni, ami gyakorlatilag szimulálja azt az állapotot, amikor az IC lábaira adunk egy bitminta sorozatot és egyidőben a bemeneti blokkokból (a léptetőregiszteren keresztül) kiolvashatjuk, hogy az IC lábain milyen jelek vannak jelen. Tehát ezzel az eljárással néhány jel felhasználásával (TDI/TDO/TCK/TMS) úgy gerjeszthetjük vagy olvashatjuk az IC lábaira kerülő jeleket, hogy azokhoz nem kell tesztpontokat tervezni az áramköri hordozóra és nem kellene ezeket csatlakoztató tesztűk sem. Az eljárás kiválóan alkalmas arra is, hogy olyan funkciókhoz is adjon külső hozzáférést, amik az IC kivezetésein keresztül nem elérhetőek, de hibakeresési, programozási vagy diagnosztikai szempontok miatt nagyon hasznosak. Ezzel a továbbgondolásával a technológiának úgy lehet az integrált áramkör szolgáltatásait javítani, hogy a tokozás költségét nem növeljük.



7.38. ábra: Boundary scan blokk diagram

#### 7.7.2.4. Vektormentes teszteljárások

Ezen teszteljárások során egy-egy IC-lábra váltakozó áramú (AC) jelforrást kapcsolnak és a hatást egy másik lábon vagy külső érzékelővel vizsgálják. Ellentétben a funkcionalitást is ellenőrző vektoros tesztekkel, az vektormentes tesztek alkalmával csak az IC-lábak érintkezését ellenőrizhetjük az áramkörök tápfeszültség mentes állapotában.

Jellegüket tekintve az vektormentes tesztek közül két módszer különböztethető meg. Az egyik lehetőség egy olyan nagyimpedanciás technika, amelynél Az IC kivezetéseinek hálózata és a tokra felfekvő fémfelület közötti kapacitív csatoláson keresztül érzékeljük a beadott AC jelet. A másik eljárás esetén AC jellel hajtjuk meg az IC egyik lábát, és a hatást egy másik lábon detektáljuk. Ez a technika kisimpedanciás jellegénél fogva képes kimutatni a bizonytalan forrasztásokat.

#### 7.7.2.5. Az ICT szekvencia felépítése:

Az áramköri teszt folyamatának fontosabb lépései a következők:

- Kapacitások kisütése
- Érintkezési teszt
- Rövidzár teszt
- Analóg alkatrészek tesztje (R, C, L, Dióda, Tranzisztor, FET)
- Vektormentes tesztek
- A mérendő egység (UUT) tápfeszültség alá helyezése
- Tápforrások, analóg IC-k tesztje
- Digitális IC-k tesztje
- Tápfeszültség lekapcsolása
- Kapacitások kisütése

Az elektronikai termékek hibáinak többsége elsősorban a gyártási folyamat problémáiból adódik, és ezek felderítésére és behatárolására az áramköri teszt adja a leghatékonyabb megoldást. Az ICT végrehajtása egyszerű, nem időigényes és a diagnosztika eredményének kiértékelése is könnyen elvégezhető, így a folyamat megfelelően szolgálja a tömegtermelési igényeket.

Az említett előnyök mellett az ICT-nek számos technológiai és gazdaságossági kihívást kell

leküzdnie napjainkban. Ezek közül legjelentősebb, hogy a növekvő alkatrészsűrűség és miniatürizáció miatt egyre nehezebb a hozzáférési pontok elhelyezése a mérendő kártyákon ezen valamelyest segít a peremfigyeléses (Boundary scan) technológia használata, de ez sem teljeskörű megoldás. További mérés technikai problémák adódhatnak abból is, hogy a digitális áramkörök logikai jelszintjei olyan mértékben csökkennek, ami olyan extra követelményeket támaszthat a mérési pontossággal szemben, amik gyakran csak nagyon költséges módon oldhatók meg. Számos korlát jelentkezik a nagyfrekvenciás, és differenciális jelek és az ezen áramkörökben használt alkatrészek vizsgálatánál is, különösképpen ott, ahol a rendelkezésre álló hely ellenére nem lehet mérőpontokat elhelyezni, mert azok befolyásolják (vagy akár lehetetlenné teszik) az áramkör elvárt működését.

## 7.8. FUNKCIONÁLIS TESZTELÉS

Az elektronikai gyártás során 3 féle hibát lehet egyszerűen elkülöníteni:

- alkatrész hibák
- gyártási hibák
- tervezési (áramköri, vagy alkatrészek együttműködése miatti) hibák

Az eddig tárgyalt ellenőrzési eljárások AOI, AXI, MDA, és részben az ICT is, nagyrészt a gyártás során keletkező hibák kiszűrését hivatottak minél hatékonyabban elvégezni. Mint láttuk az ICT volt e sorban az első olyan berendezés, ami az alkatrészek bizonyos funkcionális paramétereit is (ellenállása, kapacitása, erősítése, polaritása, nyitófeszültsége ...) képes volt megmérni, amivel az alkatrészek „minőségét” vagy megfelelőségét is ellenőrizte. Természetesen az áramkörbe beültetett és beforrasztott alkatrészek már hatással vannak egymásra, ezért teljes biztonsággal vagy a kívánt pontossággal nem lehet mindegyiket mérni, még akkor sem, ha az áramkör tervezésekor tudtak minden alkatrészhez megfelelő számú tesztpontot biztosítani.

Ennek következtében kialakulnak az egyes alkatrészek ellenőrzése helyett a teljes áramkörök (vagy legalábbis bizonyos részeik) viselkedését ellenőrző eljárások, amiket funkcionális teszteknek hívunk. A funkcionális tesztek feladata, hogy a lehető legpontosabban leutánozzák azt a környezetet, amelyben a felhasználó a terméket üzemszerűen használni fogja, miközben ellenőrzik, hogy a tesztelt termék (DUT - Device Under Test vagy UUT- Unit Under Test) teljesíti e vagy sem, a megkívánt működési paramétereket.

Gyakorlatban ezek a tesztrendszerek olyan programozott mérőgépek, amik csatlakozókon,

mérőpontokon, antennákon keresztül stimulálják a mérni kívánt eszközünket és annak válaszából következtetnek a működés helyességére vagy hibáira. A stimuláló jelek létrehozására és a mérni kívánt válaszjelek mérésére az esetek többségében bonyolult célműszereket használunk, vagy speciálisan az adott igényeknek megfelelően fejlesztünk ki, amiket a tesztberendezést irányító számítógép, programból képes vezérelni. A vezérlés megvalósítására sokfajta eljárás jött létre az elmúlt évtizedekben, de manapság a számítástechnikában vagy járműiparban széleskörűen elterjedt (és ezért olcsó!) vezérlések a leggyakoribbak. A legelterjedtebbek ezek közül az USB, FireWire, Ethernet, GPIB, LXI, CAN buszok, illetve számítógépbe épített mérőkártyák esetén PCI, PCIe vagy ezek ipari változatai a PXI és PXIe. Nagy bonyolultságú vagy kiterjedésű rendszerekben ma is előfordulnak még VXI vagy VME alapú rendszerek, de ezek áruk és terjedelmük miatt, egyre jobban kiszorulnak az ipari alkalmazásokból.

Mivel a funkcionális tesztek az adott termék „igényeihez” igazodnak (azaz az adott termék mérésére a tervező- és gyártócég elvárásai és gyártási környezetének megfelelően speciálisan lettek létrehozva) ezért megjelenésük és felépítésük is termék és cégspecifikus. Ennek megfelelően az áruk is a többi „általános” gyártási lépéshez képest igen magas.

A cégek belső minőségi követelményei mellett, a különböző szabványokat felügyelő szervezetek (és természetesen a vevők is!) előírnak speciális tesztek az azonos szabványnak megfelelő termékek biztonságos és garantált együttműködése érdekében. Ilyenek lehetnek pl. a különböző számítástechnikai (USB/Ethernet/FireWire/VGA/DVI...és még sok száz másik.), a telekommunikációs (GSM, WCDMA, BlueTooth, ZigBee, DVB...) autóiipari (CAN, CAN Open, LIN...) vagy szórakoztató ipari (HDMI, DVD, MP3...) szabványok. Ezeket a szabványossági tesztek szintén a funkcionális tesztekbe szokás integrálni, már csak azért is, mert az esetek nagyrésztében ugyanazon műszerekkel elvégezhetők ezek a minősítések, mint amiket az áramkör funkcionális tesztjeihez már használunk.

A legtöbb esetben további követelmény, hogy a szabványossági mérések vagy minősítések eredménye, egyértelműen összeköthető legyen a mért termékkel és az eredmények később is visszakereshetők legyenek. Ennek elsődleges feltétele, hogy a termékek egyedileg azonosíthatók legyenek mind a mérés mind a későbbi életciklusuk során. Ez legegyszerűbben természetesen valamilyen jelölési technikával érhető el (címké, lézeres feliratozás, nyomtatás...) de napjainkban szinte minden terméken található ún. nem felejtő memória, amiben könnyedén eltárolható a termék egyedi azonosítója is. Ehhez persze a tesztrendszert alkalmassá kell tenni, a terméken lévő memória programozására.

A második feltétele a termék mérésének visszakövethetőségéhez, hogy a mért eredményeket el tudjuk tárolni és azokat megőrizhessük az előírt ideig (1-5 év a szokványos, de lehet akár 25 év is!)

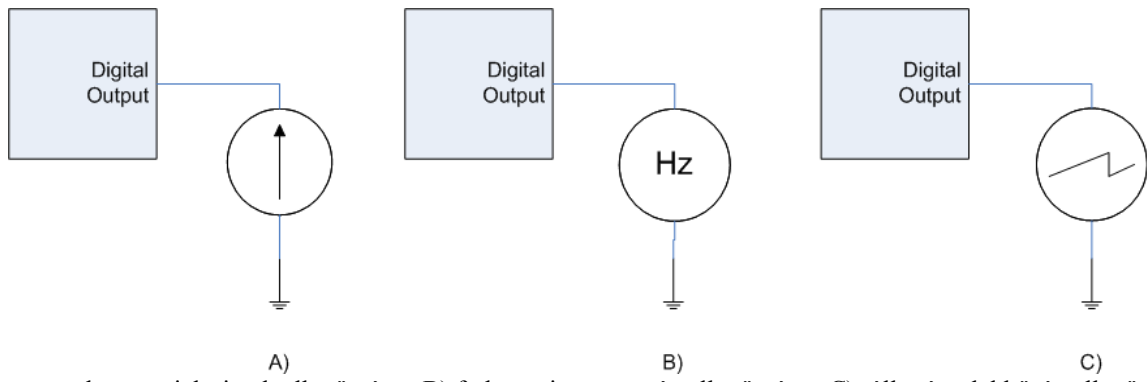
A termelő cégeknek a szabványossági előírásokon kívül is érdekük, hogy a gyártásuk során a termékek minél korábban, egyedileg azonosíthatók legyenek, típusuk, gyártási idejük, felhasznált alapanyagok, verziójuk alapján, hiszen a termékek minőségét befolyásoló tényezők vagy akár gépbeállítások így azonosíthatók és javíthatók hosszútávon a legkönnyebben.

Az említett egyedi azonosítókön kívül manapság a termékek döntő többségének szüksége van a működtető program vagy programok „letöltésére” is, a végleges funkciók elnyeréséhez. Ezen programok „letöltéséhez” vagy beprogramozásához szintén szükség van bizonyos feltételekre (tápfeszültségek beállítása, módbeállító jelek helyes létrehozása...) amik a legtöbb esetben a funkcionális tesztben már rendelkezésre állnak. Ennek köszönhetően, és természetesen a tesztrendszerek minél jobb kihasználása érdekében, ezeket a programozási lépéseket is a funkcionális tesztekbe szokták integrálni. Előfordulhat, hogy nagy darabszám vagy nagyméretű memóriák programozása esetén jobban megéri egy „csökkentett képességű” állomás létrehozása, ami speciálisan csak a programletöltésre képes és nem tartalmazza az összes méréshez szükséges műszert. Ennek eldöntése a tesztstratégiát megtervező mérnök feladata, akinek ismernie kell a termék a gyártás és a szabványok követelményeit is.

### **7.8.1. Kézi ellenőrzés**

Az első generációs “tesztek” megjelenésekor (1920-as évek) nem rendelkeztek speciálisan a tesztekre optimalizált műszerekkel. Így az ellenőrzés végrehajtásakor a tesztet végrehajtó személyzetnek (operátor) kézzel kellett beállítani a mérés típusát, és a méréshatárt. Lévéen egy csatornás műszereket használtak, a több be- / kimenetű termékeknél minden egyes tesztelt csatornára külön kellett a műszert csatlakoztatni (7.39. ábra). Általában megfigyelhető volt, hogy a különböző funkciók mérésére különböző műszereket használtak, így egy termék teszteléséhez akár 3-10 műszert is felhasználtak.



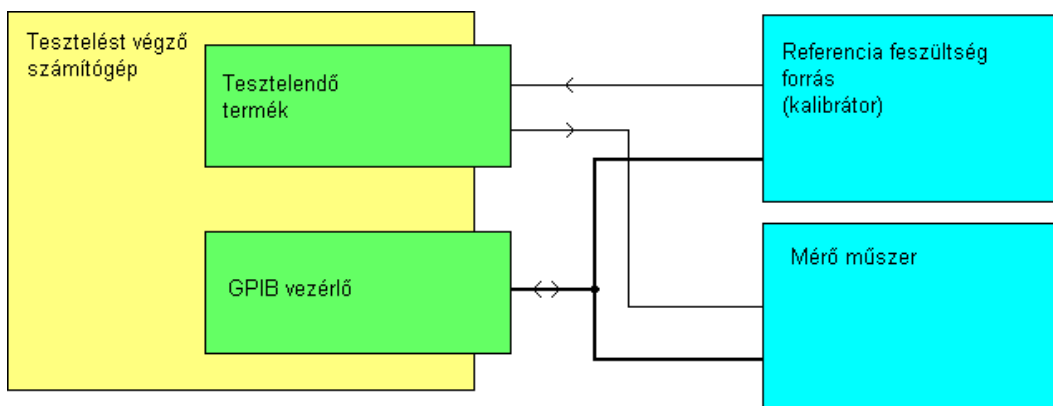


A) magas – alacsony jelszintek ellenőrzése, B) frekvencia pontosság ellenőrzése, C) túllövés, alakhűség ellenőrzése

7.39. ábra: Számláló kimenet manuális tesztelése

### 7.8.2. Automatizált tesztek

Ezeknél a teszteknél a termék tesztelését ugyancsak célműszerekkel végzik, azonban ebben az esetben a műszerek vezérlését, illetve a mérési adatok feldolgozását egy számítógép végzi (7.40. ábra). Általában a számítógépről vezérelték a terméket, és az azon futó szoftver végzi a tesztet, vezérli a műszereket, például GPIB kommunikációval. Minden egyes I/O teszteléséhez külön-külön kell a műszereket csatlakoztatni. Az analóg bemenetekhez nagy pontosságú referenciaforrásokat, kalibrátorokat, a kimenetekhez 6-8 digitális mérőműszereket használnak.

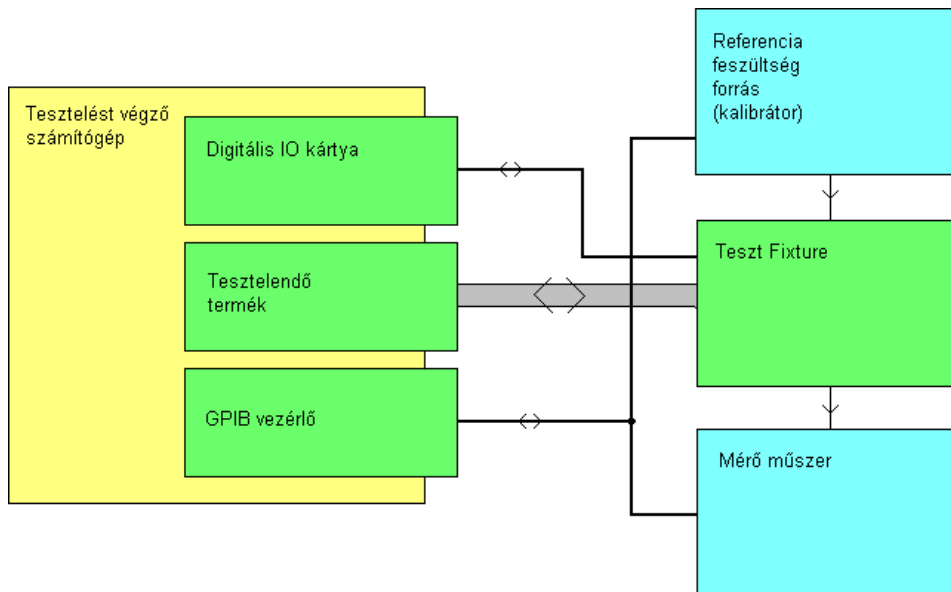


7.40. ábra: FVT teszt hagyományos végrehajtása

### 7.8.3. Javított tesztek

A technika fejlődésével a be és kimenetek száma megsokszorozódott, így ma már a 64 csatornás adatgyűjtő kártyák sem ritkák a piacon. Ebből adódik az eddigi rendszerek problémája, ugyanis az operátor beavatkozásának ideje az effektív tesztidő többszörösére nőtt. Így született meg az a megoldás, amikor egy kiegészítő mérő áramkörrel (fixture-rel, ejtsd: fixcsőr) végeztetik többek között a műszerek aktív csatornára való kapcsolását (7.41. ábra).

A kis zaj, és linearitás problémák elkerülése végett a fixture-ben az analóg jelek kapcsolását többségében relével oldják meg. Ezek az eszközök viszont jelentős áramfogyasztással rendelkeznek, így ezek vezérlése nem történhet TTL szintű Digitális IO (DIO) kártyával.

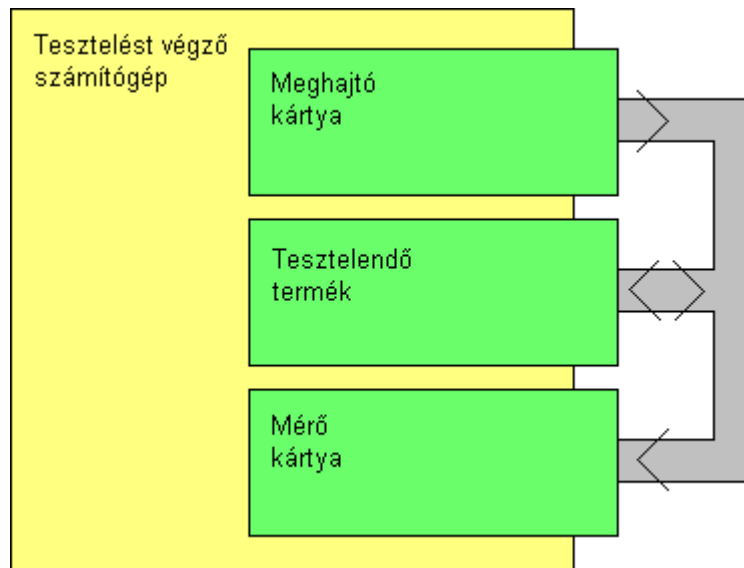


7.41. ábra: FVT teszt végrehajtása javított környezetben

#### 7.8.4. Teszt virtuális műszerekkel

A következő nagy problémát már maguk a műszerek jelentették. Nagypontosságú és nagy csatornaszámú műszerekről lévén szó, meglehetősen drágák voltak, és az idő előrehaladtával, egyre nehezebbé vált kezelésük, karbantartásuk. Mindezek mellett olyan funkciókat tartalmaztak, amiket a felhasználók egyáltalán nem, vagy csak nagyon ritkán használtak az automata mérések során, mint pl.: a kijelzők, vezérlő eszközök, gombok. Ezek miatt, jelentős fizikai kiterjedéssel rendelkeznek, így a teszttállomások meglehetősen nagyok és bonyolultak voltak. A megoldást ebben az esetben új típusú főként számítógépes kártya alapú specializált mérőkártyák (virtuális műszerek) használata jelentette (7.42.ábra).

Az új rendszerek sokkal integráltabbak, és a műszerek kiiktatásával az egyébként lassú GPIB kommunikációt is gyorsabb rendszerbuszok váltották le, így maga a tesztidő is drasztikusan lecsökkenhetett. Ezek a szélesebb körben használható mérőkártyák sokat egyszerűsítettek a sok ki- bemenetet tartalmazó rendszerek zajviszonyainak javításában és fogyasztásának csökkentésében is. Persze a rugalmasságnak és a sebességnek itt is ára van, hiszen ezeknek a műszerkártyáknak a programozása sokszor nagyon alapos programozói és operációs rendszer szintű ismeretet feltételez.

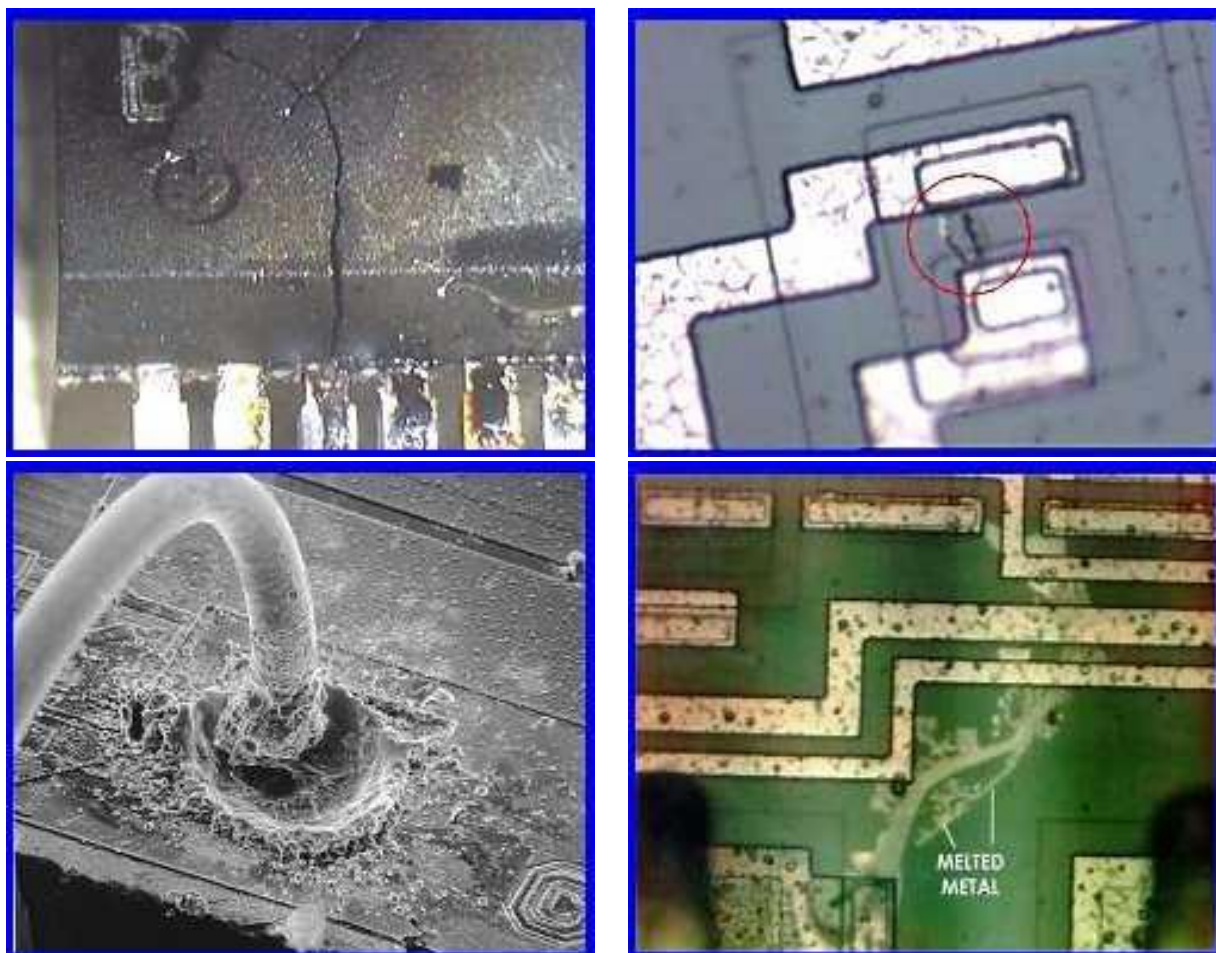


7.42. ábra: FVT teszt végrehajtása virtuális műszerekkel

## 7.9. ESD VÉDELEM

A félvezető alapú alkatrészek igen érzékenyek az elektrosztatikus kisülésekre, hiszen ezek a kisülések visszafordíthatatlan sérüléseket okozhatnak a belső szerkezetükben. Az ilyen kisülés az elektrosztatikusan töltött tárgyak közötti kisülést, azaz töltéskiegyenlítést jelenti, ami bármely két különböző mértékben feltöltött tárgy között létrejöhet. Jellemzően igen gyors lefolyású, a hétköznapi életben szikraként észlelhető, és talán legjobban egy „mini villámként” határozható meg. Az alkatrészek miniaturizálása folyamatosan növeli az érzékenységüket is, hiszen a vezeték és szigetelő távolságok csökkentésével jár. Ez azt eredményezi, hogy napjaink félvezető alkatrészeinek (szigetelési távolság tipikusan kisebb, mint 1  $\mu\text{m}$ , de akár 28nm-es is lehet!!!) elég már néhányszor 10V vagy 100V feszültségű elektrosztatikus kisülés és tönkre mennek (7.2. táblázat). A kisülés általában nem látható, így sohasem tudhatjuk, hogy mikor tesszük tönkre az alkatrészeket! Mivel az ember számára ez a folyamat nem látható és eredménye is csak közvetve érzékelhető, ezért az egyik legnehezebben kezelhető hiba típus a gyártás során. Amennyiben a hiba létrejöttkor a félvezetőknél olyan részeit teszi tönkre a kisülés, amiket a termék használata közben azonnal nem érzékelhetők, szinte lehetetlen addig felfedezni, amíg a hiba nyomán keletkezett sérülés olyan mértéket el nem ér, ami már a felhasználó által is üzemzavarként észlelhető. Ez órákkal, napokkal, de akár hónapokkal is a sérülés keletkezése után következik be, de természetesen van olyan mértékű sérülés is ami azonnali észrevehető. Ennek megfelelően az ESD-s hibákat két osztályba sorolhatjuk

- *Katasztrófális hiba:* A készülék nem működik tovább, helyben javítható, kevésbé költséges (az esetek kb. 20%-a).
- *Lappangó hiba:* A készülék működőképes, de rendszeres szervízt igényel. Helyben nem javítható, költséges, rontja a márkanév hitelét, általában 3-12 hónapon belül hibajelenséget okoz (az esetek kb. 80%-a).



7.43. ábra: Elektrosztatikus kisütés okozta hibák

Mivel az ilyen mértékű érzékenysége az elektronikai alkatrészeknek (és ez ezáltal a belőlük épített készülékeknek) nagyban korlátozná a felhasználhatóságukat is, természetesen a félvezetőgyártók és az áramköröket tervező mérnökök is mindent megtesznek, hogy megvédjék termékeiket a statikus feszültségek kisülésekor keletkező hibák ellen. Ez jelenthet különböző alkatrész és áramkör szintű elektronikai védelmek használatát, de akár az anyagok gondos megválasztását és az összeszerelési sorrendet is, hiszen ezek átgondolt tervezése nagyban csökkent a feltöltődés, és ez által a kisülés lehetőségét.

Azonban a gyártás során ezek a védelmek nagyrészt még nem hatásosak, csak az összeszerelés vagy forrasztás után tudják kifejteni hatásukat. Ennek köszönhetően az elektronikai iparban több szabvány is előírja (pl.: IPC 2000) az ESD-s védelmek kialakítását, amit már az épületek tervezésekor figyelembe kell venni. A gyártás során a legmegfelelőbb, ha a feltöltődés mértékét tudjuk korlátozni, vagy a töltött részecskék kialakulását tudjuk megakadályozni.



Erre az alábbi lehetőségeink állnak rendelkezésünkre:

- A töltésképződés megakadályozása (megfelelő ESD anyagok és egyéni ESD személyi védelem használatával)
- Töltés semlegesítése (ionizátorok)
- Töltés elvezetése (ESD hálózat, ESD lábbeli, ESD sarokpánt ill. ESD csuklópánt)  
Többszörös bebiztosítás
- Munkafelületek ionizálása

7.2. táblázat: Tipikus feszültségek a páratartalom alakulása szerint

Páratartalom	0—25% RH	65—90% RH
Séta a szőnyegen	35,000 V	1500 V
Séta műanyagpadlón	12,000 V	250 V
Munka a munkaasztalon	6000 V	100 V
Műanyagzacskó felemelése az asztalról	20,000 V	1200 V
Széken való mozgolódás	18,000 V	1500 V

Az elektrosztatikus töltés okozói:

- munkafelület
- padlók
- székek
- ruházat
- papírok, irattartók
- csomagolóanyagok
- személyzet
- légáramlatok
- berendezések

### 7.9.1. Anyagok osztályozása elektrosztatikus tulajdonságaik alapján

#### *Elektrosztatikus vezető anyagok:*

Alacsony elektrosztatikus ellenállású anyagoknál az elektronok könnyebben áramlanak, így a töltés a föld, vagy más vezető anyag felé gyorsabban távozik el

Felületi ellenállás:	$<1 \times 10^5$
Fajlagos térfogati ellenállás:	$<1 \times 10^4$

#### *Elektrosztatikusan elnyelő anyagok:*

Magasabb elektrosztatikus ellenállású anyagoknál az elektronok lassabban áramlanak, és így némileg szabályozható a töltések eltávozása.

Felületi ellenállás:	$>1 \times 10^5, <1 \times 10^{12}$
Fajlagos térfogati ellenállás:	$>1 \times 10^4, <1 \times 10^{11}$

#### *Elektrosztatikusan árnyékoló anyagok:*

Az ESDs-ek számára ezek az anyagok úgy viselkednek, mint egy Faraday-kalitka. Ezáltal megvédik az energia átviteltől a bennük tárolt anyagokat.

Felületi ellenállás:	$>1 \times 10^4$
Fajlagos térfogati ellenállás:	$>1 \times 10^3$

#### *Elektrosztatikusan szigetelő anyagok:*

Ezek az anyagok meggátolják az elektronok áramlását a felületükön keresztül, és a töltés sokáig megmarad rajtuk

Felületi ellenállás:	$>1 \times 10^{12}$
Fajlagos térfogati ellenállás:	$>1 \times 10^{11}$

#### *Antisztatikus anyagok:*

Ezeket az anyagokat nem lehet az ellenállással leírni. Ezek az anyagok megakadályozzák a töltés keletkezését

Felületi ellenállás:	nem függ össze
Fajlagos térfogati ellenállás:	nem függ össze

A legtöbb elektrosztatikus töltést generáló anyagok, berendezések az elektronikai gyártás során:

- latex, szilikon és hasonló anyagok
- konvektorok
- konvektor szíjak és továbbító berendezések
- monitorok

A sztatikus töltés a következő problémákat okozza az elektronikai gyártás során, amelyek a következők:

- porvonzás
- termékkárosodás
- a termék hibás működése
- tűz- és robbanásveszély
- ESD
- oxidáció a sérült helyen
- vezetési hibák
- zárlat

## **7.9.2. ESD védelemi rendszerek**

### *7.9.2.1. Az ESD padlózat kialakítása*

Az ESD padlózatot sík és szilárd felületen kell kialakítani annak érdekében, hogy a padlózat felületére elhelyezett terhelések lehető legkevésbé okozhassanak berepedéseket, töréseket a padlózat rétegeiben.

A padlózat alatt jól vezető réz fóliahálót alkalmaznak, mely közvetlenül érintkezik a két-rétegű ESD védőburkolattal és vezetékkel csatlakozik az ESD védőföldelési hálózat EBP pontjaihoz. Hálórács anyagszerkezetű ESD védőburkolatot célszerű alkalmazni annak érdekében, hogy a burkolat hosszabb idő elteltével ne szakadjon önálló, elszigetelődő darabokra.

Az ESD padlózat kialakításakor törekedni, kell a  $10^6$  Ohm (1 MOhm) alatti földelési ellenállás értékre. A  $10^9$  Ohm (1 GOhm) értékhatárt mindenképp be kell tartani. A  $10^6$  Ohm (1 MOhm) feletti földelési ellenállású területeken az ESDS anyagok elsődleges ESD védelméhez csuklópánt használata szükséges.

### 7.9.2.2. *Az ESD padlózat használata*

Az ESD padlózat vezetőképességének megőrzése érdekében kerülni, kell az éles, hegyes tárgyak vagy berendezések elhelyezését. Ezek hajszál-repedéseket, réteg-töréseket okozhatnak, ami lokális szigetekre bonthatja a padlózat vezető rétegét. A mechanikai rongálódást meg kell előzni. Hőkamrák, forrasztókemencék, vagy más nagyfokú hőszugárzás kibocsátására képes berendezések hőterhelésétől óvni kell a padlózatot az anyagkiszáradásból adódó vezetőképesség romlásának elkerülése érdekében.

A területen esetleg alkalmazott vegyi anyagok kiömlésétől óvni kell a padlózatot, mert a vezető réteg homogenitását károsíthatja.

### **7.9.3. Az EPA-n (Elektrosztatikusan Védett Területen) való tartózkodás szabályai**

Az egyéni védőfelszerelések használata kötelező minden személynek, aki az EPA területére lép!  
Tilos:

- ételt, italt fogyasztani
- ruhát váltani, ill. öltözködni
- védelem nélküli ESDs-t megfogni
- elektrosztatikus erőteret generáló anyagot bevinni

#### 7.9.3.1. *Egyéni védőfelszerelések*

Az egyéni védőfelszerelések használata és ellenőrzése minden esetben a területen tartózkodó felelőssége. Amennyiben rendellenességet észlel a védőfelszerelések működésében, köteles az illetékes felelősnek, ezt a tényt jelenteni.

#### **ESD cipők, papucsok, ESD cipópánt**

Az EPA területén mindenki számára kötelező az ESD lábbeli viselése, ennek hiányában minimum 1 db ESD cipópánt viselése a cipőn. Általában az elektronikai gyártócsarnokok a dohányzón, a tartózkodón, a mellékhelyiségeken kívül teljes egészében EPA területnek számítanak. Az EPA területére lépés előtt a bejáratnál található ESD teszteren minden esetben az ESD lábbeli vagy sarkantyú működését ellenőrizni kell, és az ellenőrzést aláírással hitelesíteni kell. a az ESD lábbeli

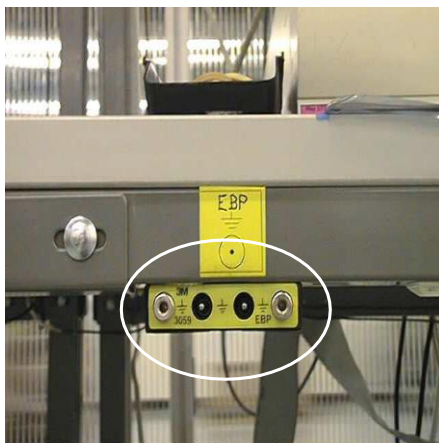
a teszternél nem megfelelően működik, ebben az esetben meg kell tisztítani, és az ellenőrzést újra elvégezni. Ha ekkor sem megfelelő a működése, a lábbelit ki kell cserélni. Vastag vagy nylon zokni és harisnya viselése nem ajánlatos.



a.) sarkantyú



b.) kesztyű



c.) földelési pont 1



d.) földelési pont

7.44. ábra: ESD védelmi felszerelések:

Ahol a munkautasítás tartalmazza, ott ESD kesztyű használata kötelező (7.44. ábra). Az EPA területén mindenki számára kötelező az ESD köpeny viselése (7.45. ábra). Az ESD köpenyen legalább három gombot be kell gombolni. Az ESD köpenynek az alatta lévő teljes felső ruházatot, és a ruha ujját is takarnia kell.



7.45. ábra: ESD köpeny

Ahol a munkautasítás tartalmazza, ott csuklópánt használata kötelező. Az EPA területére lépés előtt a bejáratnál található ESD teszteren minden esetben az ESD csuklópánt működését ellenőrizni kell, és az ellenőrzést aláírással hitelesíteni kell.

Az egyéni védettséget a területre való belépéskor ellenőrizni kell. A mért ellenállás határértékeit az IEC 61340-5-1/2-es előírások határozzák meg (7.3. táblázat).

7.3. táblázat: Ellenállás határértékek

	Alsó (MΩ)	Felső (MΩ)
Csuklópánt	0,75	35
Lábbeli	0,10	35

A leggyakrabban alkalmazott ESD jelöléseket a 7.46. ábra szemlélteti.



- a.) EPA (Elektrosztatikusan Védett Terület) kezdete      b.) EPA (Elektrosztatikusan Védett Terület) vége

7.46. ábra: ESD jelölések



## Az ESD teszter használata

Az egyéni ESD védőfelszerelésedet minden belépésnél ellenőrizned kell! A folyamatot a következő ábrákon keresztül szemléltetjük.

A teszter fölött elhelyezett kijelző jelzi a teszteren történő folyamatot ill. a teszeredményt. Minden mérésnél a kijelzőn kiírt utasításokat kell követni, ellenkező esetben nem valós adatok kerülnek rögzítésre. A lábbeli teszt után a teszter automatikusan a csuklópánt teszterre vált. Ha a teszt eredménye nem felel meg az előírásoknak a következőket kell tenned: tisztítsd meg a lábbeli talpát, illetve várj 5 percet, hogy a lábbeli felvegye a lábadd hőmérsékletét.



### A lábbeli tesztelésének menete:

- Az ESD lábbelivel (cipőpánttal) lépj a tesztlemezre.
- Ha nincs ESD lábbelid, ESD cipőpánt használata kötelező.
- Érintsd meg a teszteren található kontaktlemezt egy vagy két ujjal. A teszter jelzi, hogy az ellenállás megfelelő tartományban van-e.



### A csuklópánt tesztelésének menete:

- Vedd fel a csuklópántot.
- Fontos, hogy a csuklópánt belső része tökéletesen érintkezzen a bőrrel.
- Csatlakoztasd a földelő vezeték egyik végét a csuklópántodhoz, a másik végét a tesztelő berendezés megfelelő bemenetéhez.
- Érintsd meg a teszteren található kontaktlemezt egy vagy két ujjal. A teszter jelzi, hogy az ellenállás megfelelő tartományban van-e.

7.47. ábra: ESD védelmi felszerelések helyes használata: a.) csuklópánt, b.) sarkantyú

## 7.10. NEDVESSÉGÉRZÉKENY ALKATRÉSZEK (MSD)

A felületszerelt (SMD) alkatrészek gyors fejlődése és térhódítása az elektronikai gyártásban egy új technológiai és megbízhatósági kihívással szembesítette az alkatrész és nyomatatott áramköri szerelvény gyártókat. Ezen alkatrészek polimer vagy műanyag öntött tokozása idővel képes magába szívni és tárolni nedvességet a levegőből. Az újraömlasztó (reflow) forrasztás során mivel az egész áramköri szerelvény az alkatrészekkel együtt fel van melegítve, a nedvesség gőzzé alakul, kitágul és károsítja a tokozást vagy rétegelválást okoz az alkatrész szerkezetében. Ez a jelenséget magyar szakirodalom nedvesség érzékenységnak, az erre hajlamos tokozással rendelkező alkatrészeket pedig nedvesség érzékeny alkatrészeknek nevezi. A nemzetközi (angol) szaknyelv direkt magyar fordításban nedvességérzékenységnak (Moisture Sensitive) illetve nedvességérzékeny alkatrészeknek (MSD) nevezi.

Hasonlóan az elektrosztatikus kisülés okozta károsodásokhoz a legnagyobb problémát a látens (nem azonnal végzetes) hibák jelentik a nedvesség érzékeny alkatrészeknél. A sérülés az általánosan elterjedt vizuális és optikai ellenőrzéseken nehezen vagy egyáltalán nem detektálható. Gyakran fordul elő, hogy az ily módon károsodott alkatrészek még megfelelően képesek működni a gyártási funkcionális tesztek, illetve az elektronikai eszköz élettartamának első szakaszában. Idővel azonban megbízhatósági és minőségi problémákat okoznak a végfelhasználónál. Ezért az ipar elsősorban a megelőzésre és nem a detektálásra fókuszál a probléma megelőzésének érdekében.

A jelenség hatékony és egységesített kezelésére született az IPC/JEDEC J-STD-033 szabvány. Bármely komoly elektronikai gyártó és beszállító számára a szabvány ismeretét és alkalmazását szinte kötelező érvényűnek kell tekinteni. Sajnos a szabvány felületen ismerete és követése miatt sok gyártónál a mai napig mutatkoznak problémák.

A szabvány kiterjed az alkatrészek kezelésére, csomagolására, szállítására és felhasználására. Az alkatrészt a gyártásának pillanatától egészen addig, amíg az egész gyártási folyamat utolsó, magas hőmérsékletű lépésén át nem jut, nedvesség érzékeny alkatrészként kell kezelni. (Sőt néha még utána is, újra megmunkálás vagy javítás miatt). Ezért ez a teljes beszállító lánc (Supply Chain) több résztvevőjét is érinti. Előfordulhat például, hogy egy nedvesség érzékeny alkatrészt az 1. számú gyártó felforraszt egy kisebb méretű elektronikai szerelvényre (például egy feszültség szabályozó áramkörre), amit továbbad a 2. számú gyártónak, aki ezt az áramkört forrasztja fel egy nagyobb elektronikai szerelvényre (pl. tápegység). Ha a két gyártó között magát a szerelvényt nem kezelik nedvesség érzékenyként, akkor bizony a második gyártónál az újraömlasztó forrasztás

során károsodhat az alkatrész.

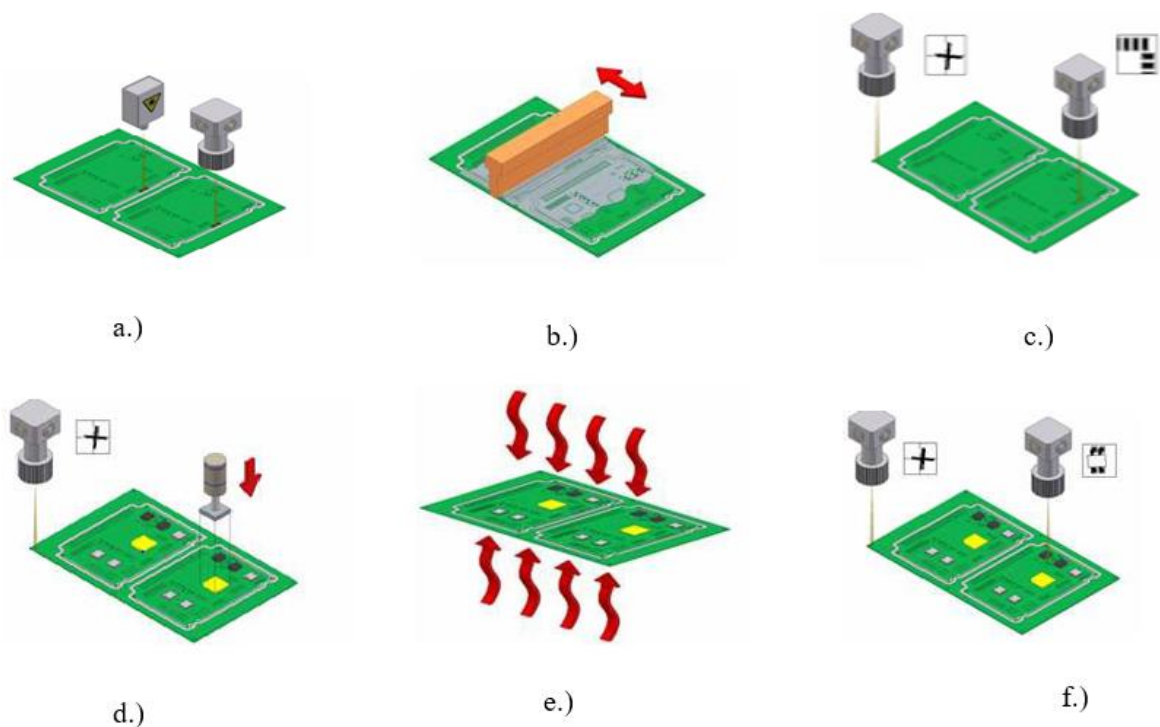
Amíg az alkatrész nincs a gyártási folyamatban felhasználás alatt a megfelelő vákuum zárt csomagolás (Moisture Barrier Bag – MBB) és deszikkáns anyagot tartalmazó zacskó védi a levegőben lévő nedvességtől. Mivel gyakran az egész csomag nem kerül egyszerre felhasználásra, fontos, hogy a csomagolást újra légmentesen vissza tudjuk zárni vagy átmenetileg pára és hőmérséklet kontrolált tároló szekrényben tudjuk elhelyezni.

A csomagolás része egy páratartalom jelző kártya (Humidity Indicator Card - HIC), amely pára hatására elváltozik és jelzi, hogy mennyi nedvességnek volt kitéve. Amikor az alkatrészeket a gyár megkapja, fontos elsőnek ellenőrizni a csomag sértetlenségét, majd az első kibontáskor a kártyán ellenőrizni nem jelezi-e, hogy túlzott nedvességnek volt kitéve.

Az alkatrészeket a szabvány érzékenységük szempontjából 8 kategóriába sorolja. Az IPC/JEDEC Test Method J-STD-020 szabvány írja le milyen tesztel kell az érzékenységet megállapítani. A kategóriák közötti különbség, hogy az alkatrész meddig lehet kitéve 30°C/60% RH (relatív páratartalom)-os környezetnek a felhasználás előtt. Az érzékenység a csomagoláson egy szabványos címke formátumban és jelölés rendszerrel van feltüntetve.

## 8. VALÓSIDEJŰ GYÁRTÁSIRÁNYÍTÁS

A korábbi fejezetekben megismert, ellenőrzési stratégiák és eszközök majd mindegyike, a végszerelést megelőző gyártási folyamat során használatos. A gyártósorra megérkező vákuumsomagolt, fóliázott és bemért montírozott lemez első állomása az áramköri azonosító felvitele. Ezt követi a forraszpaszta stencilnyomtatása, majd az első, automatizált ellenőrzés általános vagy speciálisan erre a feladatra tervezett optikai ellenőrző berendezésekkel. A gyártásifolyamat következő lépése a felületszerelt alkatrészek beültetése, majd azok újraömlesztéses kemencében történő forrasztása. Ezt újabb optikai ellenőrzés követi (8.1. ábra).

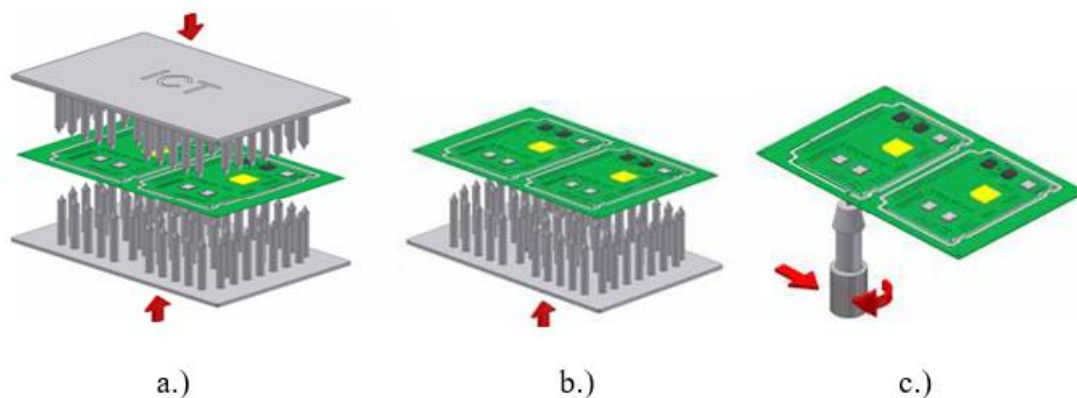


- a.) DMC kódgravírozás, b.) forraszpaszta stencilnyomtatása, c.) pasztaellenőrzés,  
d.) felületszerelt alkatrészek beültetése, e.) újraömlesztéses forrasztás, f.) optikai ellenőrzés

8.1. ábra: Automatizált gyártási folyamat:

Fenti lépések sorozata után a végszerelés és darabolás következik. Az ellenőrzött, több terméket tartalmazó montírozott lemezt áramköri teszt (ICT) minősíti. Ezt gyakran követi a Flash/EEPROM (nem felejtő memória) programozása, ami sok időt vesz igénybe ezért nem szokás a drága műszereket tartalmazó teszt berendezések idejét erre használni, majd a panel

szétválasztása (8.2. ábra). Innentől kezdve a szerelőlemezek önállóan folytatják útjukat. A szétválasztott termékek összeszerelése (címkék, hűtőbordák, hővezető paszták, ragasztók, kábelek, dobozok ...összeszerelése) után a termékspecifikus funkcionális tesztek következnek. Legvégül a csomagolás előtt a termék „identitása” kerül kialakításra paraméterek és programok letöltése segítségével (pl.: mobiltelefonoknál nyelvcsomagok programozása, operációs rendszerek és driverek installálása számítógépek vagy DVD lejátszók esetén, országspecifikus beállítások TV-k esetén, kalibrációk elvégzése mérőkártyák esetén).



a.) áramköri teszt (ICT)    b.) Flash programozás    c.) marás

8.2. ábra: Montírozott lemez minősítése, darabolása:

Az eredményes gyártás alapját természetesen a megalapozott, magas szintű műszaki szaktudás adja, de önmagában ez kevés a versenyképes piaci jelenléthez. A gyorsan változó világhoz történő alkalmazkodás csak üzemekben lehetséges. Ezek magas szervezetségű, széleskörű kooperációra képes, hatékony kialakításához gyorsan reagáló gyártásirányításra van szükség, amelynek fontos eleme a gyártás nyomon-követhetősége, a gyártósorok felügyelete és az optimális karbantartás. Természetesen a hatékony működéshez ezeknek a rendszereknek a gyártás teljeskörű tervezhetősége érdekében integrálniuk kell a logisztikai, vám és pénzügyi, raktározási, munkaügyi folyamatokat is, így adva teljes elemző és irányító funkciót a vállalatvezetés kezébe.

## 8.1. A GYÁRTÁSI FOLYAMATOK NYOMONKÖVETHETŐSÉGE

A nyomonkövethetőség (Traceability) az ISO 8402:1994 alapján megfogalmazható definíció szerint egy termék életútjának, a rajta végzett műveleteknek és térbeli helyzetének követési

képessége rögzített információk alapján. Az MSZ ISO/IEC 12207 szabvány számos esetben előírja a **nyomonkövethetőség** és ebből következően a **visszavezethetőség** dokumentálását. Ez tiszta helyzetet teremt a reklamációs és felelősségi kérdésekben, de ennél fontosabb, hogy megteremti az alapját a valósidejű gyártásirányításnak az adatok rögzítése és egységes tárolása által (ez általában nagyon nagy mennyiségű adat tárolását jelenti, ami eredményesen csak adatbázisok használatával lehetséges).

A nyomonkövethetőség első szükséges feltétele a termékek egyedi azonosíthatósága. Természetesen minden termelést végző cég használt már a kezdetektől valamiféle jelölési rendszert az egyes munkafázisok elvégzésének azonosítására, de elsőként az egyedi termékazonosítást automatizáltan lehetővé tevő vonalkódok az 1960-as évek közepén jelentek meg az USA-ban. Az eljárást mintegy 10 évvel később szabványosították UPC (Universal Product Code) néven az első széles körben elterjedt rendszert. Azóta nagy utat járt be a jelöléstechnika az ipar szinte minden területén (autóipar, élelmiszeripar, vegyipar...), és az egyes iparágak természetesen kifejlesztették a számukra legmegfelelőbb jelölési módszert a hozzá tartozó optimális kódolásokkal.

A mai gyakorlatban alapvetően két szemlélet terjedt el, miszerint vagy egy „egyszerű” egyedi azonosítót kap minden egyes termék, amihez a gyártás során hozzárendelik az összes szükséges adatot a használt adatbázisokban, vagy egy olyan azonosítót kap, ami önmaga hordoz rengeteg információt a termék gyártására és funkciójára vonatkozóan (pl. gyártás helye, ideje, gyártósor azonosítója, teljesítmény „osztálya”, beépülő alkatrészek gyártói, stb.) Ezen két alapelv végtelen sok kombinációja elképzelhető és használt is napjaink tömeggyártásában. Ha rendszerszervezési vagy kódolási- jelölési hiba miatt több termék is ugyanazt az azonosítót kapja „klónokról” beszélünk. Ez a termékjelölés egyik legsúlyosabb hibája, ami esetenként a teljesen hibátlan késztermék használhatatlanná válását is eredményezheti (pl. azonos „MAC address”-ek kiosztása hálózati eszközöknek, amik később ugyanazon hálózatba kerülve „adatütközést” és az eszköz kizárását eredményezik a hálózatból).

A lineáris vonalkódok jelentették az első lehetőséget, s ezek ma is a legegyszerűbb eszközei a gépesített azonosításnak és adatátvitelnek. A lineáris vonalkódok alapkapaacitása 14-50 karakter között mozog. Széles körben elterjedt változat az EAN-128 típus. A termék egyedi azonosítójához néhány kiegészítő információ csatolható, a kód szkennerek vagy vonalkód leolvasók segítségével olvasható. (8.3. ábra)



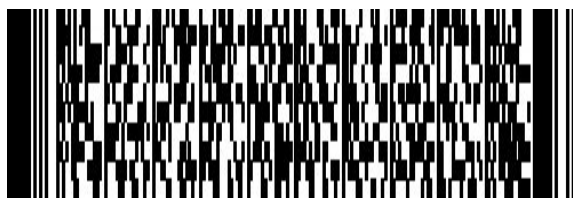


8.3. ábra: Lineáris vonalkód

A minőségbiztosítási és környezetvédelmi igények fokozódása további adatok rögzítését követelik meg, így napjainkban gyakran bővül, az adathordozón tárolt információ mennyisége. Ezek leggyakrabban kétdimenziós (2D) kódok vagy többsoros vonalkódok és mátrixok formájában lehetségesek. A kétdimenziós kódok nagyságrendekkel több információ tárolására képesek, igen jó hibajavító képességgel.

A PDF 417 kód (8.4. ábra), 2700 karakter információ tárolására alkalmas. Lézerolvasóval és kamerával olvasható, jó a hibajavító képessége. Hagyományos nyomtatási eljárással előállítható, ezért elterjedt a szállítmányozásban, a logisztikai és a gyártási információk kezelésében, valamint az okmányazonosítás területén.

Hatékony leolvasásához nagy sebességű 2D raszter lézerolvasó vagy képalkotó kamera szükséges.



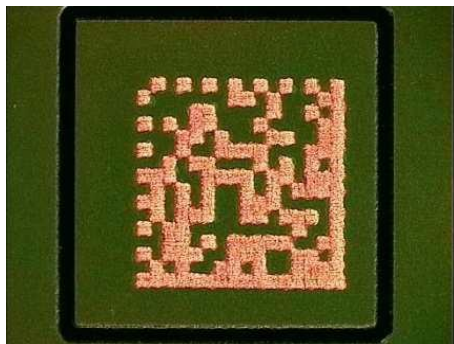
8.4. ábra: PDF 417 kétdimenziós kód

Helytakarékos változata a Mikro PDF, amely mintegy 200 karakter tárolására alkalmas a PDF 417-nél kisebb helyen.

A PDF 417-ben elvben minden típusú információ tárolható:

- szöveg,
- számszerű adat,
- kép,
- hang,
- ujjlenyomat.

A DataMatrix viszonylag kis adatmennyiség, kis területen történő rögzítésére szabványosították az alkatrész gyártó iparban (8.5. ábra). Létezik 2000 karakter kódolására alkalmas kivitel is, de még nem terjedt el széles körben. Nagyon hatékony a hibajavító képessége, az adatok 20 %-ának sérülése esetén is biztonságosan visszaolvasható. Lézeres gravírozással vagy nagy sebességű tintasugaras jelöléssel írható fel akár áramköri hordozó vagy fém alkatrészek felületére is. Olvasáshoz nagy sebességű, fix telepítésű képalkotó kamera szükséges.



8.5. ábra: DataMatrix kód, nyomtatott huzalozású szerelőlemezen (2x-es nagyítás)

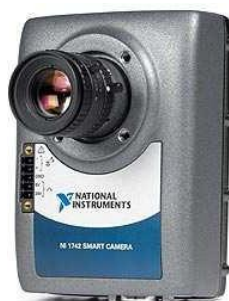
Számos egyedi tulajdonságú kódrendszer is létezik pl. Datastrip, DotCode, Grid Matrix, Han Xin Code (8.6. ábra). Utóbbi a kínai írásjelkészlet kódolására alkalmas és egyre több beszállítótól követelik meg Kínában.



8.6. ábra: Speciális, Han Xin Code

A nagysebességű olvasók változatos családjait fejlesztették ki a különböző felhasználási

területeknek megfelelően, közülük számos vezetékmentes kivitele folytán rugalmasan alkalmazható akár nagy kiterjedésű gyártósorokon is. Az elektronikai összeszerelésben használt gépek nagyrésze (pasztázó, beültetőgép, AOI, AXI, ICT...) beépített kódolvasókat tartalmaz alapképzésben is, és ezeket felhasználva egyedi azonosítókhoz rendelt logfile-kat hoznak létre működésük során, ezzel is pontosabbá téve a gyártmány visszakövethetőségét. (8.7. ábra)

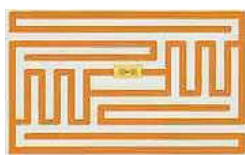


8.7. ábra: Kódleolvasó „smart” kamera

Az RF ID (**R**adio **F**requency **I**dentification) technológia nem optikai hanem rádiófrekvenciás kapcsolatot teremt a megjelölt terméken lévő azonosító (leggyakrabban címke) és a leolvasó között. Az első RF azonosítók az 1 bites áruházi lopásgátló ún. EAS címkék és leolvasóik voltak, amelyeket csak a „van-nincs” információk megkülönböztetésére lehetett alkalmazni. A mára kialakult rendszerekben a címkék energiaellátásuk alapján passzív vagy aktívak lehetnek.

A passzív címkék nem tartalmaznak energiaforrást. Felületük nagy részét az antenna foglalja el, amelyben az olvasó jele áramot indukál, ami már működtetni képes a benne lévő CMOS IC-t. A címke válaszele vagy egy azonosító szám vagy egy kisméretű elektronikusan programozható és törölhető EEPROM memória tartalma. A passzív címkék hatótávolsága 2 mm-től méteres nagyságrendig terjed, élettartamukat csak az IC-k élettartama korlátozza (több tíz év is lehet). (8.8. ábra)

Az aktív címkék miniatűr beépített energiaforrással rendelkeznek. Ez nagyobb, akár 10 m-es hatótávolságot és jelentős memória kapacitás működtetését teszi lehetővé. Egyes aktív típusok impulzus-szerűen működnek, energiatakarékos üzemmódban és akár 10 évig is üzemképesek maradnak.



8.8. ábra: Passzív RF ID címke (antenna, középen CMOS chip)

Az alkalmazások skáláját mutatja pl. a Dunlop cég, amely teherjárművek abroncsába épít az élettartam egésze során jelen lévő RF azonosítót, vagy a Ford, ahol egy csavarba integrált RF címkével látják el az autók motorblokkját.

## **8.2. MES RENDSZEREK**

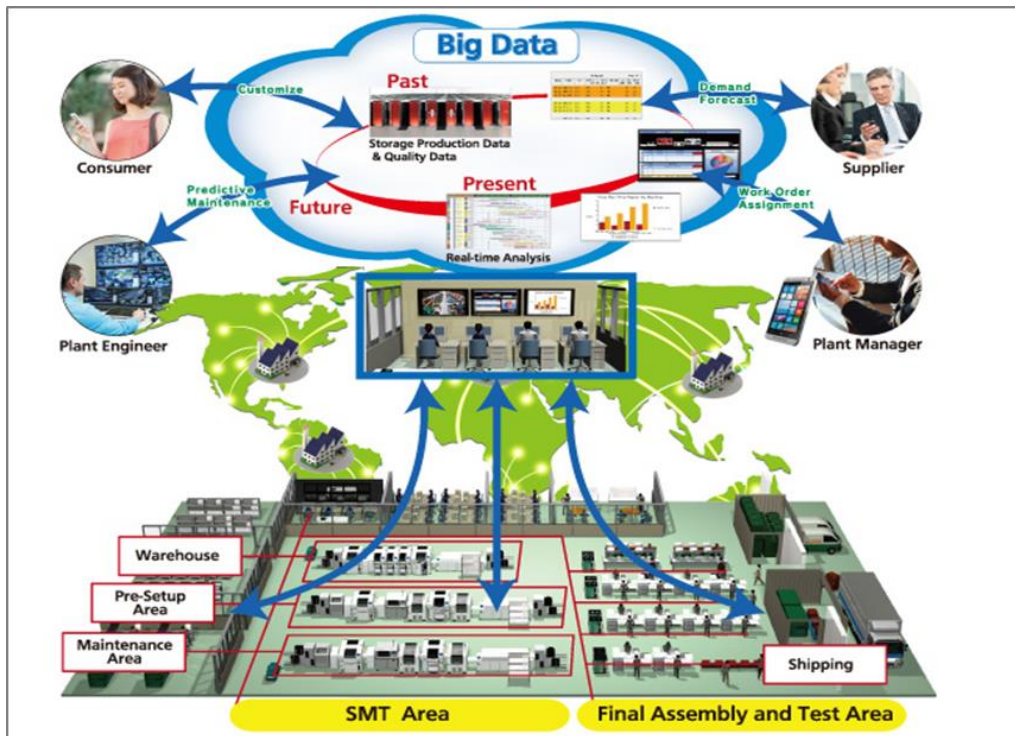
### **8.2.1. Bevezetés**

A karcsúsított gyártás (lean production) előtérbe helyezte a kevésbé automatizált, kézi munkahelyek beillesztését a számítógéppel támogatott gyártás (Computer Aided Manufacturing, CAM) környezetbe. Az „éppen időben” gyártás (Just-in-Time, JIT) paradigmájának megjelenése Japánból indult, bevezetésének haszna megfelelő informatikai támogatással a minőség, a termelékenység és a hatékonyság növekedésében, a kommunikáció javulásában, valamint a költségek és veszteségek csökkenésében nyilvánul meg.

### **8.2.2. Gyártásirányítási funkciók**

A MES (Manufacturing Execution System = „Termelésvégrehajtási rendszer”) műhelyszintű számítógépes gyártásirányítási funkciók olyan együttese, melynek feladata a termelési tevékenységek tervezése, irányítása és optimalása, a függő rendelések kezelésétől az eredmények jelentéséig.

Napjainkban a piac változásai és a vevők igényeinek gyorsabb változásai miatt a MES funkciók egyre fontosabbá válnak. A MES alkalmazás legfontosabb motivációja a lokális lehetőségek és a globális üzleti célok összehangolása (8.9. ábra). A MES funkciókat megvalósító szoftvereket olyan intelligens felülettel látják el, amelyeken keresztül az üzemi adatok elérhetők a felhasználók számára a műszakvezető mérnöktől a szakmunkásokig.



8.9. ábra: MES használatának strukturális példája egy elektronikai hardvergyártó cégnél

A következőkben a MES rendszerek főbb funkcionális moduljai kerülnek ismertetésre:

### 8.2.3. Erőforrások allokálása

Ez a funkció irányítja, menedzseli az erőforrások – gépek, eszközök, emberi munkaerő, egyéb berendezések – felhasználását. Dokumentálja az erőforrás felhasználás időbeli lefolyását, és annak valós idejű állapotát lekérdezhetővé teszi. Az erőforrások allokálása alatt az erőforrások lefoglalását és diszpécser funkciók végrehajtását értjük.

### 8.2.4. Finomprogramozás

Ütemezi a beszerzést és a gyártási műveleteket. A folyamatok ütemezésének fő célja, hogy az adott művelet gördülékenyen kezdődjön el; ha elkezdődött, akadálymentesen folytatódjon tovább; majd hiba nélkül fejeződjön is be. Figyelembe véve a feladatok prioritásait, jellemzőit, attribútumait a finomprogramozás egy ütemtervet állít elő.

Bemenete az adott megmunkálandó nyersanyagok és az azokat megmunkáló eszközök listája. Az ütemezés eredményeképpen előáll egy lista, melyben a nyersanyagokon elvégzendő műveletek, folyamatok sorozata található, amelyek a gyártás során ebben a sorrendben fognak végrehajtódni.

### **8.2.5. Termelési egységek irányítása**

A gyártás során előállított termékek telephelyen belüli, továbbá telephelyen kívül eső helyre történő szállítását, és a termékek nyomon követését végzi. Két, a gyártás szempontjából igen fontos „célszemélynek” biztosít adatokat. Az egyik a vevő, akinek arról ad információt, hogy az adott termék mikor kerül legyártásra, mikor készül el. A másik a gyártó gépsor, aminek arról biztosít adatokat, hogy a termék mikor kerül az éppen aktuális munkahelyre gyártásra, honnan érkezik – másik gyártócellából, másik megmunkálási helyről, raktárból, vagy esetlegesen külső helytől, szállítótól –, továbbá arról, hogy az adott termék a megmunkálás után, előreláthatólag mikor hagyja el a megmunkálási területet, és onnan hová kerül.

### **8.2.6. Specifikációk kezelése**

A gyártási egységekkel összerendelt információkat irányítja, menedzseli, felügyeli. Ezek lehetnek jelentések, űrlapok, rajzok, alkatrészprogramok, adatbázis rekordok, munkafolyamat leírások, szabványos műveleti eljárások. Támogatja az előidejű tervezést, karbantartja a specifikációk verziószámát. A Specifikációk tartalmazhatják a környezetvédelemi előírásokat, biztonsági és egészségügyi szabályokat, és a hibaelhárítási eljárásokra vonatkozó információkat.

### **8.2.7. Üzemi adatbázis kezelés, adatgyűjtés**

Feladata, hogy beszerezzen, gyűjtsön és karbantartson minden olyan információt, ami a legyártandó termék és környezete nyomon követésével, karbantartásával, gyártási múltjával, továbbá más gyártási menedzsment funkciókkal kapcsolatosak. Adatszerzés céljából szkennerek, érzékelők és bemeneti terminálok kombinációját, szoftver interfészeket, illetve különálló szoftvereket használhat. Az adatok a gyártási szinten származhatnak automatikus és manuális forrásból, illetve azonnal hozzáférhetők.

### **8.2.8. Munkaerő menedzsment**

Egy adott pillanatban megadja a személyzeti állomány éppen aktuális státuszát. Munkaidő, illetve munkahely látogatottsági jelentéseket készít. Ez a funkció együttműködhet az erőforrás allokációval annak érdekében, hogy meghatározható legyen az optimális hozzárendelés.



### **8.2.9. Minőségmenedzsment**

Méri a gyártási folyamatokat és elemzi a keletkező adatokat. Magába foglalhat mind folyamatokon belüli kiértékeléseket, mind általános termék és folyamat nyomon követést és hibazonosítást. Hibák esetén javaslatot adhat a lehetséges hibaokok felderítésére, illetve a hiba kiküszöbölésére, vagy a hiba okozta káros hatások csökkentésére. A minőségmenedzsment szerepe, hogy áthelyezi a hangsúlyt a termékek meghibásodásának kijavításáról, a hibák megelőzésére, továbbá a fokozatos minőségjavításra.

### **8.2.10. Folyamat menedzsment**

Megfigyeli és/vagy automatikusan korrigálja a gyártási folyamatokat. Támogatja az operátorok döntéshozatalát, hogy korrigálják a fellépő hibákat és javítsa a folyamatokon belüli tevékenységek színvonalát. Kritikus esetben riaszthatja a menedzsmentet, a gyártásban résztvevő alkalmazottakat, a folyamatoknak az elfogadható értéken kívül eső változásairól, vészhelyzetekről.

### **8.2.11. Karbantartás menedzsment**

Nyomon követi és vezérli a berendezések és eszközök karbantartási tevékenységeit, hogy biztosítsa azok rendelkezésre állását a gyártási műveletek elvégzésére. Menedzseli az ismétlődő, vagy megelőző karbantartás ütemezését, és választ, riasztást ad a sürgős hibákra. Karbantartja az események és hibák előfordulásának történeti listáját, hogy segítse a hiba vagy az adott esemény meghatározását, diagnosztizálását.

### **8.2.12. Termékkövetés**

Biztosítja, hogy minden időpillanatban látható legyen, hogy hol folyik munka, továbbá megfigyelhetővé teszi a munkahelyen lévő folyamatok, eszközök, emberi munkaerő rendelkezésre állását. Az állapot információk magukban foglalhatják, hogy kik dolgoznak az adott helyen, a nyersanyag komponenseket szállítók szerinti bontásban, sorozatszámokat, aktuális gyártási állapotokat, továbbá bármilyen riasztást, hibajavítást vagy más kivételes esemény kezelését, amelyek a termék előállításával kapcsolatosak. Az online naplózási funkció karbantartja az események historikus listáját. Ez a napló teszi lehetővé a felhasznált komponensek, illetve

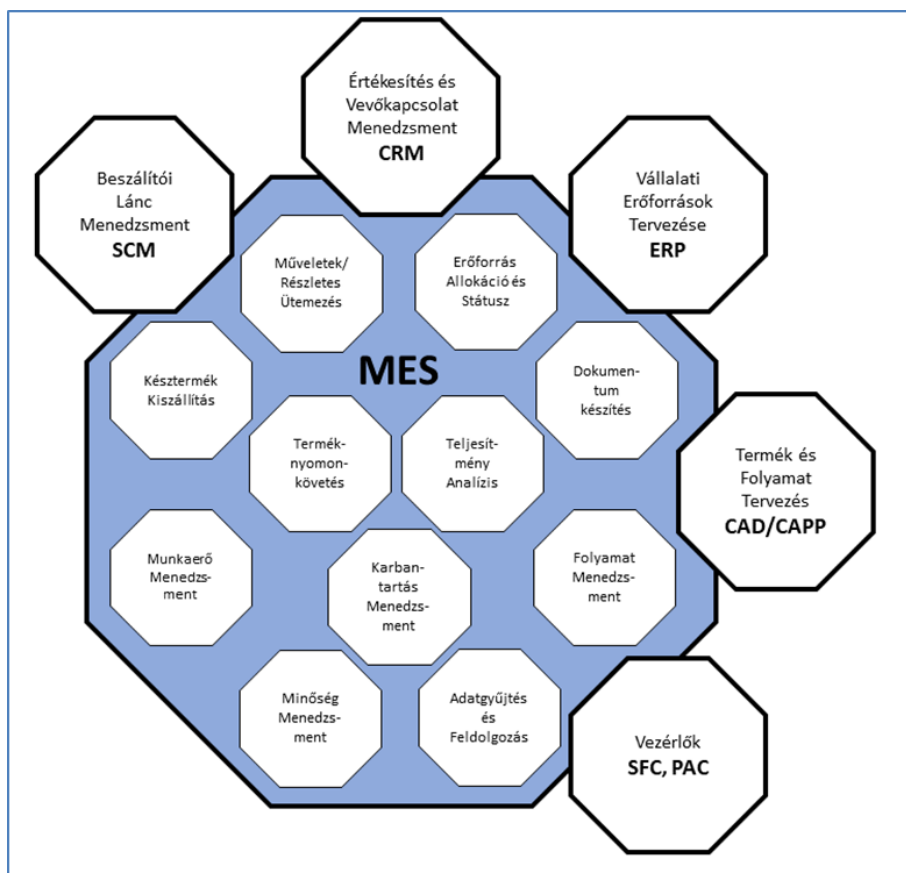
előállított végtermékek gyártási folyamatának utólagos nyomon követését.

### 8.2.13. Teljesítmény-analízis

A gyártási tevékenységek eredményeinek aktuális jelentését biztosítja percre készen. Ezeket összehasonlíthatják a korábbi eredményekkel, illetve az adott területen megfogalmazott követelményekkel, elvárásokkal. A teljesítményadatok olyan összetevőket foglalnak magukba, mint az erőforrás vagy tartalékok kihasználtságára vonatkozó mérések, készlet, eszközök rendelkezésre állásának adatai, elkészült termék ciklusideje, továbbá, hogy milyen mértékben alkalmazkodott az ütemezéshez és mennyire felelt meg a szabványoknak. Több megjelenési formája lehet, így például riportok, diagrammok, online adatok, stb.

### 8.2.14. Anyag-, és eszköz menedzsment

Menedzseli az árukészletek, alkatrészek és eszközök mozgását, azok átmeneti és végleges tárolását (Tool Management) (8.10. ábra).



8.10. ábra: A MES funkciók elvi sémája Az ábrán a MES komponensei mellett a csatlakozó, számítógéppel támogatott rendszerek is láthatók.

### 8.2.15. Termelés-ütemezés és felügyeleti problémák

A MES funkciók között kiemelkedően fontos szerepet foglal el a rövid távú termelés- ütemezés és felügyelet. A feladatok modellezésére és megoldására sokféle elvet modellt és módszert használnak. Ennek okai a termelési folyamatok irányításának erős modellfüggésében keresendők. Jellegzetes problémák:

- A termelési folyamatok igény (megrendelés) függése (Make-to-Stock, MTS illetve Make-to-Order, MTO gyártás).
- Az ütemezési és allokációs feladatok komplexitása, modellfüggése.
- A diszkrét optimalizációs feladatok komplexitása (NP hard feladatok).
- Változó termelési politikák és termelési célok.
- Sokféle megoldási módszer (leszámlálás, heurisztika, operációkutatás, keresési algoritmusok, korlátozás programozás).
- Technológiai, gép, emberi erőforrás és anyag alternatívák kezelése, stb.

## 8.3. OPTIMÁLIS KARBANTARTÁS

### 8.3.1. Karbantartási rendszerek

A karbantartás fogalmán azoknak a tevékenységeknek az összességét értjük, amelyek növelik egy berendezés rendelkezésre állását (más kifejezéssel készenlétét). A rendelkezésre állást legegyszerűbben úgy értelmezhetjük, mint a hasznos működésben (termelésben) töltött idő és a működésben és javításban (karbantartásban) együttesen eltöltött idő hányadosát:

$$R_m = T_{mük} / (T_{mük} + T_{jav})$$

A karbantartással kapcsolatos valóságos helyzet jobb leírásához egy hatékonysági mutatót az OEE-t (Overall Equipment Effectiveness) használják. Ez nem csak a rendelkezésre állás mutatóját veszi figyelembe, hanem egy teljesítmény- ( $T_m$ ) és egy minőségi ( $M_m$ ) mutatót is:

$$OEE = R_m * T_m * M_m$$

Ebből látható, hogy nem mindig a karbantartásra fordított idő csökkentése növeli az eszköz vagy gép hatékonyságát, mert azt ellensúlyozhatja a nagyobb teljesítmény és a kisebb selejtszázalék. Ez azért is lényeges, mert egyes vizsgálatok szerint a hazai vállalatok nagy részénél az OEE értéke mintegy 50-70 %-a a komplex karbantartási gondolkodásmóddal elérhetőnek, azaz a gépeik

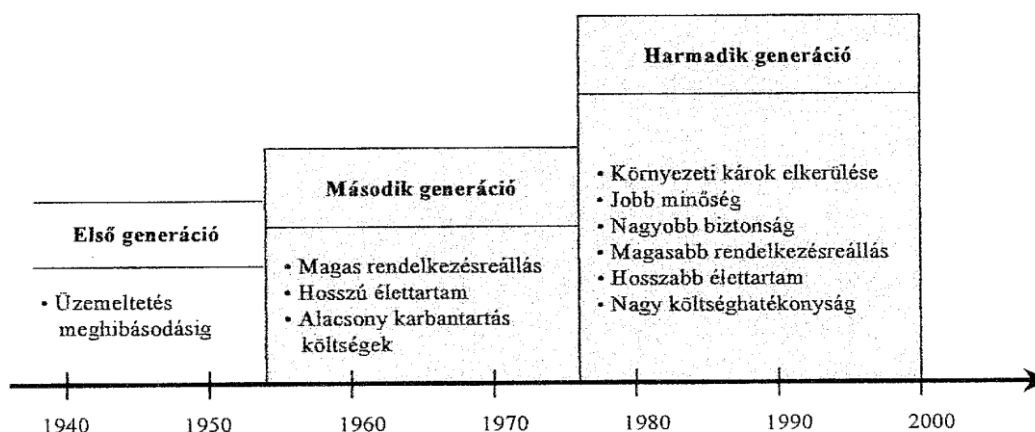
kapacitása 50-70%-ban kihasznált.

A karbantartást a korábbi üzemszervezési stratégiák egyszerű szolgáltatásnak tekintették. A szolgáltatással kapcsolatos elvárások fokozatosan bővültek és az ezredforduló időszakára a vállalati eredményességet jelentősen befolyásoló rendszerré álltak össze. A folyamat a mai gondolkodásmód megjelenéséig három jelentős szakaszra osztható:

1. üzemelés meghibásodásig: a legegyszerűbb karbantartási stratégia, melyet csak abban az esetben alkalmaznak, ha a berendezés termelékenysége alacsony, és a meghibásodásból adódó gépkiesés az üzemeltető számára nem jelent nagyobb problémát. A vállalatok felismerték, hogy az alkatrészek kihasználtsága a hibáig üzemelésénél nagy, hiszen a beépített alkatrész a teljes élettartamáig működik. Másrészt viszont alacsony a termelés megbízhatósága, tervezhetősége, és ezzel együtt magas a súlyos következményekkel járó hibák kialakulásának veszélye és ezek költségei. A termelékenység fokozódása, a berendezések bonyolultságának növekedése és a költségérzékenység miatt ezt a stratégiát az '50-es évek elején kezdték lecserélni az iparvállalatok.
2. merev ciklusrendű karbantartás: első alkalmazása a második világháború utáni időszakra tehető, amikor az élő munkaerő árának növekedésével, a berendezések bonyolultsági fokának növekedésével, és az elvárt termelékenység, valamint költség-hatékonyság megjelenésével egyidőben jelentkezett az igény arra, hogy a meghibásodások megelőzhetőek, tervezhetőek legyenek. Ez a stratégia az adott géptípusokra meghatároz olyan időalapú, kötött intervallumokat, amelyekben a gépeket kis-, közép- és nagyjavításoknak vetik alá. A rendszer célja a megbízhatóság és tervezhetőség növelése, miközben az alkatrészek élettartamának kihasználása értelemszerűen romlik.
3. diagnosztikai alapú karbantartás: amikor a gépek bonyolultsága tovább növekszik (automatizálás) és az adott iparág/terület érzékenyebbé válik a leállásokra és a költséghatékonyságra, érdemes elgondolkodni a merev ciklusidejű karbantartás kiváltásán. Ennek egyik lehetséges útja a műszaki diagnosztika alkalmazása a gépek üzemeltetésekor. Ilyen diagnosztikai alkalmazás például: hossz-, nyomás-, hőmérséklet-, fordulatszám-, rezgés- és zajmérés, elemzés. Annak ellenére, hogy ezek a lehetőségek és ezek szakirodalma mindenki számára elérhető, a cégek nagyon alacsony százaléka alkalmazza ezt a technikát. Ennek legfőbb oka, hogy az alkalmazásához speciális szakértelem szükséges.

Az, hogy a cég megvásárol egy diagnosztikai műszert és kiképez egy személyt, aki képes a műszer használatára, még nem azt jelenti, hogy egy teljesértékű diagnosztát kapott. Hosszú szakmai

elméleti és gyakorlati tapasztalat szükséges ahhoz, hogy a mért eredmények elemzése után optimálisan meghatározzák a gépspecifikus karbantartási feladatokat. A másik ok, hogy a berendezések viszonylag kis hányada diagnosztizálható gazdaságosan. A diagnosztika alkalmazásakor a megtakarítások jellemzően nem is a karbantartási költségekben jelentkeznek, hanem az üzemeltetéskor, így egy-egy drága műszer mögé nem könnyű megtakarítást rendelni.



8.11. ábra: Karbantartási rendszerek korai generációi

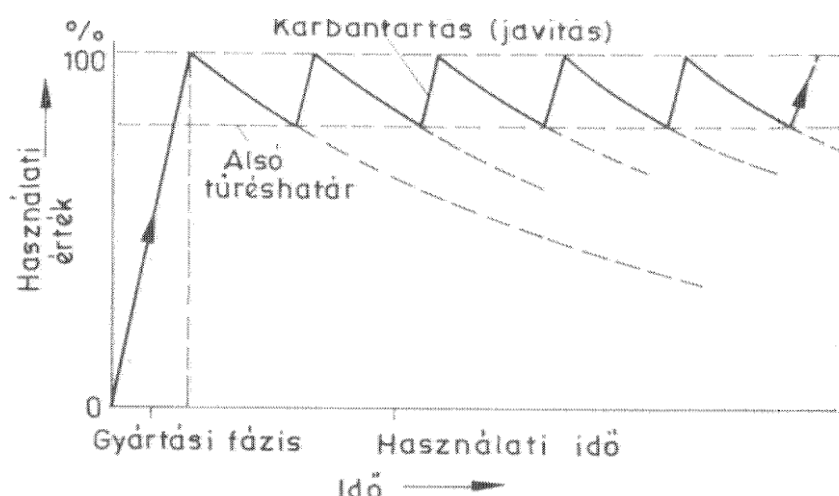
Az üzemi hatékonyság és a karbantartás összefüggéseinek felismerése után az összetett karbantartási rendszerek számos típusa alakult ki. (8.11. ábra) Ezek közül a leggyakoribbak:

- tervezett karbantartási rendszerek (Planned Maintenance)
- előrejelző karbantartási rendszerek (Predictive Maintenance)
- beavatkozó karbantartási rendszerek (Proactive Maintenance)
- kezelő által vezetett megbízhatóság (Operator Driven Reliability)
- megbízhatóság központú karbantartási rendszerek (Reliability Centered Maintenance)
- teljeskörű hatékony karbantartás (Total Productive Maintenance)

A felsorolás utolsó két tagját az üzemi gyakorlatban az angolszász elnevezésük alapján általában csak RCM-ként és TPM-ként említik. A TPM-et szokás termelékenység központú karbantartásnak is nevezni.

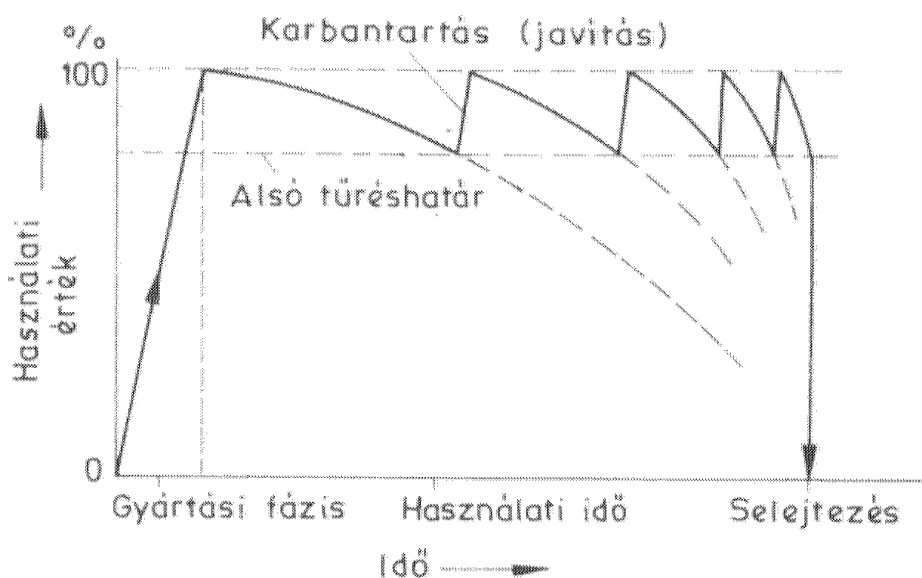
Az RCM önmagában viszonylag szűk körben terjedt el. Elsősorban ott van létjogosultsága, ahol folyamatosan, nagy biztonsággal kell szolgáltatni. Ilyen helyek a veszélyes üzemek és a nagy közszolgáltatók (pl. energiaellátó rendszerek, vízművek...). A készenlétet magas szinten kell tartani, a rendszernek szigorúan meghatározott megbízhatósággal kell működni. Ehhez ismerni kell az alkatrészek, részegységek megbízhatósági jellemzőit, melyekből kiszámítható az egyes egységek várható működési ideje. Ennek bekövetkezése előtt, karbantartást, illetve cserét kell végezni. A készenlét ezek után mindig az elvárt (közel 100 %-os) szintre áll vissza. A javítási

ciklusok többnyire szabályos időközönként követik egymást, a rendszerek csak hosszú használati idő (esetleg több évtized) elmúltával kerülnek selejtezésre. A számítások alapjául szolgáló adatokat lényeges paraméterek idősoraiból, Pareto-elemzésekből, FMEA analízisekből nyerik.(8.12. ábra)



8.12. ábra: Azonos ciklusidejű, megbízhatóság központú karbantartások

A terméket előállító üzemek nagy része más filozófia alapján tud maximális hatékonysággal dolgozni. Tudomásul veszik a berendezések elhasználódását, majd selejtezését. A javítási ciklusok a gépek öregedésével rövidülnek. Előfordul, hogy még működő vagy javítható gépet kivonnak (selejteznek) a termelésből, mert a hatékonyság már nem felel meg a piaci követelményeknek (ekkor beszélünk a berendezések erkölcsi kopásáról). Ilyen esetekben a korszerű üzemszervezés a TPM-et, a termelékenység központú karbantartási rendszert választja. (8.13. ábra)

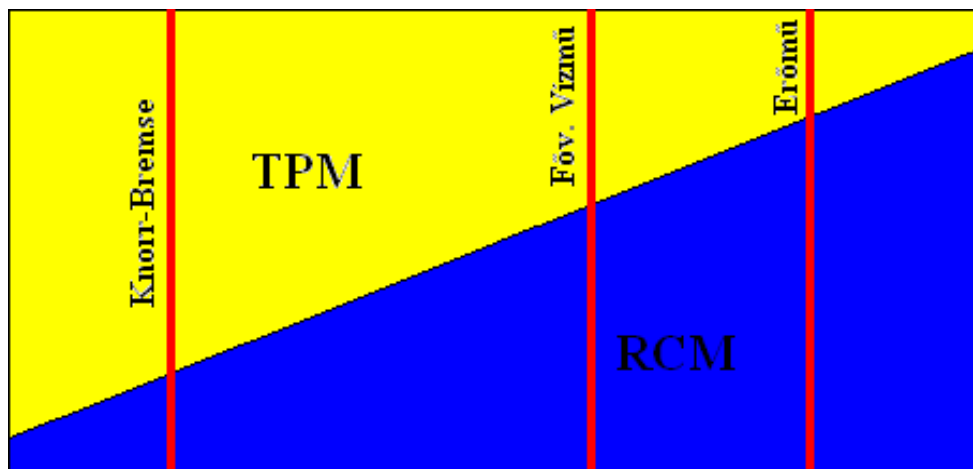


8.13. ábra: Rövidülő ciklusidejű hatékonyság központú karbantartások

A gyakorlatban a két rendszer egyes elemei össze is kapcsolhatók. Így nem különülnek el teljesen,



csak az üzemek jellegének megfelelően az RCM vagy a TPM elemei vannak bizonyos arányban együttesen jelen. Jól szemlélteti az arányokat egy hazai gépgyártó vállalat, egy vízmű és egy erőmű gyakorlata alapján közelített ábra (8.14. ábra).



8.14. ábra: Az RCM és TPM arányainak változása különböző szervezetekben

A TPM alkalmazása Japánból indult el és 1995 után gyorsult fel terjedése először a távol-keleti országokban, majd Észak-Amerikában. Mintegy 700 japán vállalat eredményei a következőket mutatták a bevezetés után:

*Berendezések készenléte:* a véletlenszerű hibák száma 1/10-1/250-ed részre csökkent, a berendezések hatékonysága 50-100 %-kal nőtt.

*Minőség:* az ellenőrzésben észlelt hibák száma 1/10-ed részre csökkent, a vevői reklamációk száma 1/4-ed részre csökkent.

*Raktározás:* a készletek tárolási ideje felére csökkent.

*Környezet és biztonság:* a balesetek és a környezeti károk száma nullához közelít.

*Dolgozói morál, aktivitás:* a fejlesztési javaslatok száma 5-10-szeresére nőtt.

Az első hazai bevezetők tapasztalatai is rendkívül kedvezőek. A cégeknél a géphiba miatti kiesés 1/10-ére esett vissza, a termelékenység 1/4-ével nőtt, a selejtarány közel egy nagyságrenddel javult. Az elért mutatók jelzik, hogy a TPM legfontosabb célja a berendezések kihasználtságának növelése, a veszteségek csökkentése, a termékek minőségének javítása. Kicsit talán félrevezető is a megnevezésben szereplő „karbantartás” kifejezés, mert a módszer legalább annyira termelés és minőségfejlesztési eljárás, mint karbantartási rendszer. A vezetés, termelés, karbantartás elemzését és fejlesztését egységesíti a termelés hatékonyságának növelése érdekében, magas

biztonsági és alacsonyabb költségszint mellett. Bevezetése jellemzően több hónapos (esetleg éves) folyamat, hasonlít a minőségbiztosítási rendszerek bevezetéséhez. Nagy előny, ha már a minőségbiztosítási rendszer működik és kiépültek a számítógépes vállalatvezetés (ERP) és a gyártásirányítási (MES) rendszerek alapelemei.

### **8.3.2. Tartalék alkatrész rendszer**

Legyen szó akár tervezett, akár nem tervezett karbantartási feladatról, az esetek túlnyomó többségében a géphiba elhárításához, vagy a karbantartási művelet elvégzéséhez szükség van valamilyen alkatrészre, karbantartási segédanyagra. A tartalék alkatrészek kezelésénél, több szempontot kell figyelembe venni:

- *Alkatrészek azonosítása, kikereshetősége:*

Mivel szinte minden karbantartási, javítási művelet az adott gép leállításával jár, ezért fontos ezen kiesési idő minimalizálása, azaz a cserélendő alkatrész gyors és pontos azonosíthatósága és az új alkatrész minél gyorsabb rendelkezésre állása.

- *Alkatrészek szállítási határideje:*

A szükséges készletszintek beállításakor figyelembe kell venni az egyes alkatrészek szállítási határidejét, mivel a gépek bonyolultsága függvényében egy-egy értékesebb alkatrész beérkezése több hetet vagy akár hónapokat is igénybe vehet.

- *Alkatrész ára:*

Cél, hogy a készletszint meghatározásnál ne csak a szállítási határidőket és a géppark biztonságos üzemeltetéséhez szükséges mennyiségeket vegyük figyelembe, hanem a készletérték optimális szinten tartását is, hiszen ezekben a tartalék alkatrészekben a cég pénze „áll”.

- *Mérete:*

A tárolási kapacitás és mód meghatározásához elengedhetetlen az alkatrészek méreteinek ismerete.

- *Tárolási követelmények:*

Mivel az elektronikai gyártásban használt berendezések alkatrészei is érzékenyek a környezeti változásokra (hőmérséklet, páratartalom, nyomás, elektrosztatikus feltöltődés), ezért fontos a tárolási követelmények meghatározása és betartása.

Amennyiben rendelkezünk CMMS (Computerised Maintenance Management System, azaz számítógépes karbantartás menedzsment) rendszerrel, minden karbantartási, vagy eseti

meghibásodás esetén rögzítenünk kell a felhasznált anyagok mennyiségét és azt, hogy melyik géphez használtuk fel. Így lehetőség nyílik arra, hogy idővel, átfogó képet kapjunk a felhasznált anyagok felhasználási gyakoriságáról, élettartamáról, mennyiségéről, költségéről és ezen ismeretek tükrében tudjunk dönteni az optimális készletszintek nagyságáról, valamint az alkatrészek fejlesztésének szükségességéről.

### **8.3.3. Oktatás**

Az elektronikai iparban használt gépek nagy pontossága és gyorsasága miatt meglehetősen bonyolult, összetett szerkezetek. Mindezek mellett ezen iparágban dinamikusan fejlődő műszaki megoldásokat alkalmaznak, éppen ezért ezek ismerete megköveteli a kiszolgáló személyzet, így a karbantartók folyamatos képzését is.

3 féle képzési rendszert különböztetünk meg:

Gépspecifikus tréning: az iskolából kikerülő technikusok, mérnökök nem rendelkeznek az ipárgspecifikus ismeretekkel (géppark, folyamat, alkatrész, technológia, stb.), így ezek oktatása minden esetben az adott cég feladata. Még az elektronikai gyártók között is óriási különbségek vannak a géppark felépítésében, és összetételében, ezért gyakran a hasonló iparágban szerzett tapasztalat sem elegendő.

Tudásszint megtartó és elmélyítő: a gépek bonyolultsága miatt fontos, hogy a karbantartó személyzet szisztematikus hibakeresési képességét folyamatosan erősíteni, fejleszteni kell. Néhány bonyolultabb karbantartási művelet elvégzése alapos begyakorlást igényelhet a gépek bonyolultsága és az adott karbantartási művelet elvégzésének gyakorisága (ritkán elvégzett feladatok) miatt.

Új gépek, és technológiák oktatására ebben az iparágban szinte folyamatosan szükség van, hiszen egyetlen cég sem engedheti meg, hogy a szinte naponta megjelenő újításokat nem használva a versenytársaihoz képest nagyon lemaradjon.

### **8.3.4. Információs rendszer**

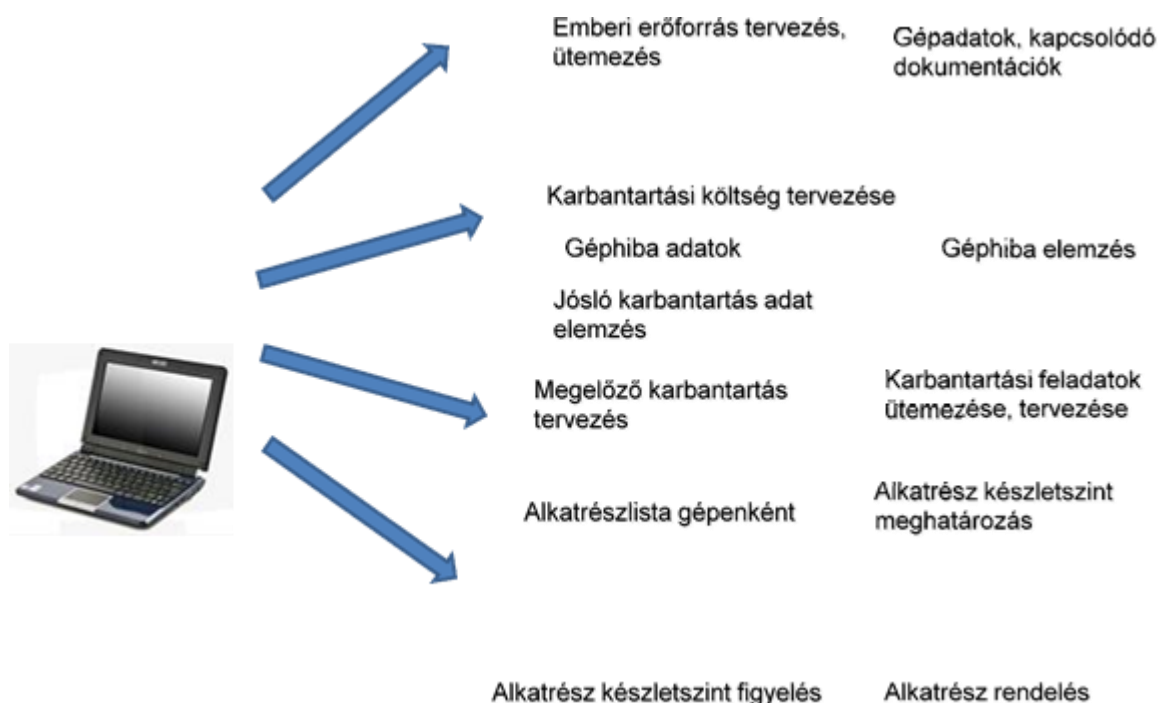
A karbantartási munkálatok nyomonkövetésére a legegyszerűbb eszköz a kézzel vezetett karbantartási napló, amiben jellemzően az elvégzett feladatokat és a felhasznált alkatrészeket rögzítik. Ennek nagy hátránya, hogy a rögzített adatokból nehezen lehetett kimutatásokat

készíteni, ami a karbantartás fejlesztésének egyik legfőbb alapja.

A számítógép megjelenésével lehetőség nyílt arra, hogy a szükséges adatokat egy helyen tároljuk, és azokból gyorsan nyerjük ki adatokat. Viszont minden információs rendszer alapja egy jól működő papír alapú karbantartási rendszer megléte.

A CMMS, mint karbantartási stratégia- alapja egy számítógépes információs rendszer, ami tulajdonképpen a karbantartás fejlesztéséhez, működtetéséhez szükséges információk (gép, ember, költség, dokumentációk, stb.) strukturált megjelenítését biztosítja. A

8.15. ábra egy karbantartási információs rendszer alapvető elemeit mutatja be.



8.15. ábra: Karbantartási információs rendszer alapvető elemeit

## 8.4. MUNKA- ÉS VIZSGÁLATI UTASÍTÁSOK

Ebben a dinamikusan változó rendszerben az oktatások mellett szükség van pontos utasításokra, amik mindig mindenkinek elérhetők, hiszen ezek betartása garantálja a termékek szakszerű gyártását. A munkautasítások a folyamatokra és a termékekre vonatkozó részletes szakmai szabályozások. Pontosabb felosztás szerint meg lehet különböztetni eljárásokat, amelyek leírják, hogy mit, mikor, ki kell, hogy elvégezzen, és munkautasításokat, amik azt írják le, hogy hogyan kell az adott tevékenységet elvégezni. A munkautasítások általában a vállalat olyan kulcsfontosságú tevékenységeihez és eljárásaihoz kapcsolódnak, amelyek a termék vagy szolgáltatás minőségét alapvetően befolyásolják. Ezek leggyakrabban az alábbi területek:

- a vállalat egészére vonatkozó, általános jellegű utasítások,
- gyártástechnológiai utasítások,
- gépkezelési utasítások,
- beállítási, kalibrációs utasítások,
- folyamatleíró utasítások,
- minőségellenőrzési utasítások,
- karbantartási utasítások,
- eszközök és folyamatok munkavédelmi utasításai,
- környezetvédelmi, takarítási és higiéniai utasítások.

A munkautasítások általában jelentős vállalati ismeretanyagot, gyakran szabadalmat, védett eljárásokat, technológiákat tartalmaznak, ezért ezek kidolgozását mindenkor az illetékes szakterület kijelölt és megbízható munkatársaival kell elkészíttetni.

A munkautasítások, mint a felsorolásból látható, a szakmai utasításokon kívül a környezetvédelemre és a biztonságtechnikára vonatkozó előírásokat is tartalmazzák.

Különösen fontosak a minőségellenőrzési utasítások, hiszen ezek arra vonatkozóan tartalmaznak szabályozásokat, adatokat, hogy a gyártás mely fázisában, kinek, milyen módon és eszközzel kell a vizsgálatokat és ellenőrzéseket végrehajtani. Egyben tartalmazzák azokat az adatokat, amelyek az előírt követelmények teljesülésének eldöntéséhez szükségesek.

Tartalmukra, szerkezetükre nincs követelmény meghatározva ezt minden vállalat saját rendszereihez és szokásaihoz igazítja.

A munkautasítások ügyviteli szabályaira nincsenek egységes (pl. szabványban rögzített)

előírások, azonban egyértelművé kell tenni a készítés és érvényesség legfontosabb adatait:

- a készítő személyét,
- a jóváhagyó személyét,
- a készítés dátumát,
- az módosítás dátumát,
- a verziószámot,
- a hatálytalanítás dátumát.

Ezek az adatok az utasítás borítóján vagy fejlécén szerepelhetnek. A kiadás (átvétel) és a visszavonás tényét elosztási listán kell rögzíteni. Ez a lista dokumentálja, kinél melyik verziójú kiadott utasítás van érvényben és igazolja, hogy az illető átvette vagy érvényét veszítve visszaadta azt.

Vállalati szinten őrizni kell az utasítások eredeti aláírt példányát, ez az ügynevezett mesterpéldány, valamint vezetni kell az ügynevezett mesterlistát, amelyből követhető mely verziók mikortól érvényesek és melyeket mikor módosítottak, vagy érvénytelenítettek.

Vannak vállalatok, ahol az egész dokumentációs rendszert elektronikussá tették, hiszen a vállalatirányítási rendszerek legtöbbje erre is lehetőséget biztosít. Ez több szempontból is előnyös, hiszen nem igényel papír alapú példányokat, amiket az elosztási listák alapján ki kell osztani, vagy éppen vissza kell vonni, nem igényel nyomtatást, mindig mindenki az aktuális verziót látja a rendszerben, a jóváhagyások, módosítások visszamenőleg könnyen áttekinthetők bárki számára. Tehát munkát és környezeti terhelést is csökkenteni lehet ezekkel a rendszerekkel a szervezet gyorsabb válaszáideje mellett. Természetesen hátránya, hogy minden munkahelyen kell olyan eszközöket biztosítani (valamilyen számítógépet), amik lehetővé teszik a dokumentációk elérését, ami költséget jelent, de ez gyakran már amúgy is elérhető, hiszen a normál munka ellátásához is szükség van számítógépekre.

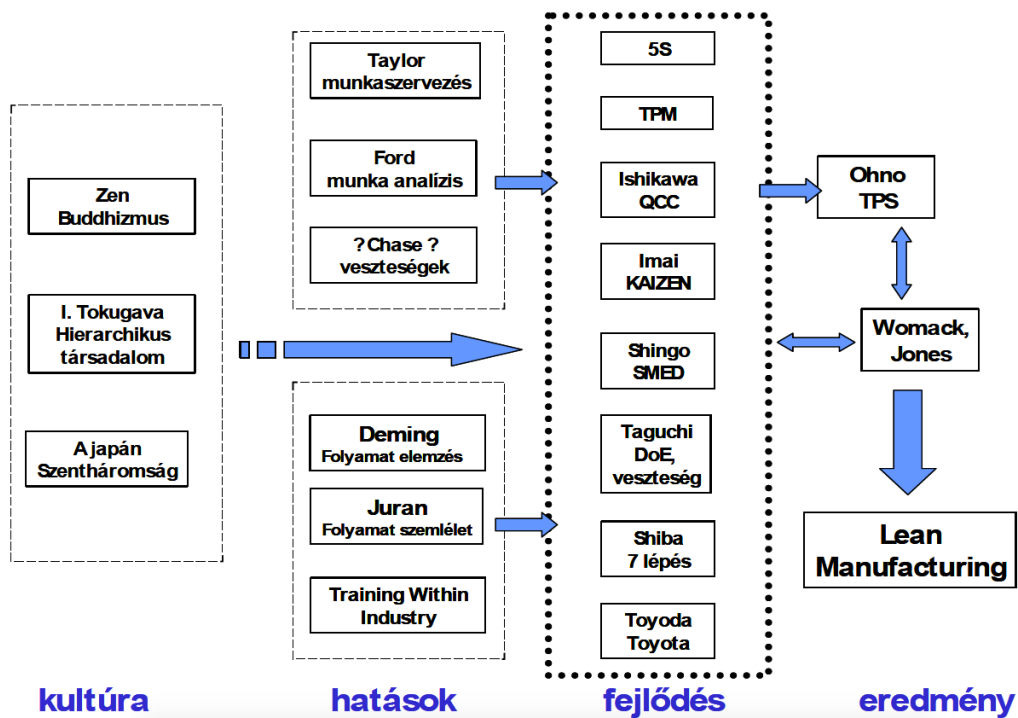
## **8.5. A LEAN FILOZÓFIA**

A Lean filozófia gyökerei egészen a sorozatgyártás elterjedésének kezdetéig nyúlnak vissza. A Ford T-Modell szerelősora volt az a jelentős siker, amely visszavonhatatlanul megváltoztatta a gyártásról alkotott elképzelésünket. A gyártásszervezés középpontjában az egyszerűsítés állt, a termelési költségek csökkentése és a minőség növelése mellett. A munkafolyamatok kialakítását precíz vizsgálat és tervezés előzte meg. A tömeggyártás visszavonhatatlanul átvette az uralmat az iparban.



Az Egyesült Államokban sikeres minőségbiztosítási alapelveket Deming és Juran munkássága segítségével ismerte meg a második világháború után talpra álló Japán ipar. W. E. Deming a statisztikai eszközöket oktató és a gyártási rendszerszemléletet, mely magában foglalta a beszállítókat és a vásárlókat is. Joseph Juran a minőségbiztosítás gyakorlati alapjait oktatta, illetve minőségmenedzsment előadásokat tartott a Japán felső és középvezetőknek.

A statisztika alapú minőségközpontú gyártás gazdag és jól termő talajra talált a felkelő nap országában<sup>1</sup>. A japán autóipar és gyártás sikere végigsöpört a világon, a nyugat figyelme a receptet kutatta, mely végül Toyota Production System (TPS) néven vált ismerté. Az amerikai és európai vezetők és mérnökök tanulmányutakat szerveztek a japán gyárakba, és a téma Japán mesterei (sensei) is elkezdtek áldásos tanítási munkájukat a globális gyártási piacon. A TPS azonban a kulturális különbségek miatt nem alkalmas az egy az egyben történő átvételre. Az elvek keveredéséből és nyugati példákra történő alkalmazásából született a Lean avagy karcsú gyártás filozófiája. Elterjedésének legnagyobb hatású műve James P. Womack et al. – The Machine That Changed the World, 1990 című publikációja. A téma iránt érdeklődőknek mindmáig ajánlott olvasmány.



8.16. ábra: A Lean kialakulására ható tényezők és folyamatok<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Forrás: Phil Landesberg: In the beginning, there were Deming and Juran

<sup>2</sup> Forrás: Tóth Csaba László: A Lean kialakulásának vizsgálata a történelem és a kultúra tükrében, 2015 (8.16. ábra)

### **8.5.1. A Lean alapelvek**

A Lean alapelvek rendszerének alkalmazásával szinte bármely folyamat egyszerűsíthető és fejleszthető. A Lean olyan filozófia, amelynek

- középpontjában a vevő áll,
- a munkatársak bevonásával fejleszti a gyártási/szolgáltatási folyamatokat,
- a veszteségek kiküszöbölésével csökkenti a költségeket.

A Lean alapelvek:

1. Value – Az értékteremtő mozdulatok, lépések meghatározása
2. Value Stream – Az értékfolyam, a veszteségek azonosítása
3. Flow – A lépések áramlásának biztosítása
4. Pull – A vevő húzza az áramlást
5. Perfection – Törekedj a tökéletességre kérlelhetetlenül

Az alapelvek segítségével ugyanúgy tudjuk optimalizálni egy multinacionális vállalat dokumentum rendszerét vagy egy 5 négyzetméteres javító műhely alaprajzát. A hangsúly az értékteremtő folyamatok akadálytalan áramlásán van. A mai Lean szakembereket jogos támadás érheti a technikák vakon történő alkalmazása miatt. Mindenképpen szükséges az alapelvek és filozófiák tanulmányozása és értelmezése a technikák gyakorlati használata előtt. Nem létezik minden vállalatra és termelésre kiterjedő biztos recept, de a Lean gondolkodás biztos alapot adhat az optimalizáláshoz. A filozófia és technikák magyar és nemzetközi irodalma szerencsére már igen gazdag. A továbbiakban vázlatosan megemlítünk néhányat a legfontosabbnak ítélt eszközök közül.

### **8.5.2. A Lean által használt néhány technika**

#### *8.5.2.1. A veszteségek (Muda) felszámolása*

A Lean egyszerre koncentrálna az értékteremtő folyamatok kiemelésére és az akadályok elgördítésére. Az első ezek közül az értéket nem teremtő vagy veszteséget termelő folyamatlépések, eszközök megszüntetése, kiváltása. A Lean által azonosított 7 fő veszteség kategória:

- Túltermelés
- Várakozás
- Felesleges szállítás
- Felesleges megmunkálás
- Magas készlet szint
- Felesleges mozdulat
- Hiba, selejt
- + A munkatársak kihasználatlan kreativitása, a humán veszteség

#### 8.5.2.2. 5S

Az 5S a Lean filozófiával kapcsolatban említett egyik legpraktikusabb technika. Gyakorlati és kézzel fogható, látványos alapot ad a munkavégzés szervezésében. 5 lépésben foglalja össze a munkavégzés helyével kapcsolatos tennivalókat:

8.1. táblázat: 5S

Seiri	Sort	A munkahelyen levő szükséges dolgok meghatározása, a szükségtelen dolgok eltávolítása.
Seiton	Set in order	A dolgok pontos és célszerű helyének kialakítása, feliratozása, jelölése, áttekinthető elrendezése.
Seiso	Shine	Tisztítás, takarítás a munkahelyen és környékén.
Seiketsu	Standardize	Fenntartás (a kialakított rend és a tisztaság fenntartását), szabványosítás.
Shitsuke	Sustain	Az előző 4 S beépítése a vállalati kultúrába, önfegyelem.

+ 1 Safety – A munkabiztonság



8.17. ábra: 5S Tools drawer<sup>3</sup>

<sup>3</sup> forrás: Wikimedia Commons

### 8.5.2.3. *JIT – Just-In-Time operáció*

Gyökerei egyszerűen a Toyota gyár kezdeti pénzügyi nehézségeire vezethetők vissza. Az üzem egyszerűen nem tudta megfinanszírozni, hogy felesleges alapanyag készleteket vásároljon. A Just in time rendszerű beszállítás és gyártásszervezés pontosságot, rugalmasságot, magas minőséget követel meg a beszállítóktól és a belső folyamatoktól. Elve kis mennyiségeket éppen időben gyártani. Minden anyag a folyamatban éppen használatban legyen.

Az operáció a vevőtől indul, a vásárlás pillanatában és vissza felé szerveződik, fontos, hogy megfelelő működés akadálytalan információáramlást követel meg a beszállítók felé. A pontos és precíz beszállításokkal megszűnik a puffer készletek fenntartásának igénye. Kapcsolódó technika a SMED (Single-Minute Exchange of Die) bevezetése a gyártásban.

A JIT rossz darabot, selejtet:

- Nem vesz át
- Nem gyárt
- Nem továbbít

### 8.5.2.4. *Value Stream Mapping*

A veszteség felszámolás és a folyamat optimalizálás eszköze. Grafikusan lépésről lépésre ábrázoljuk a folyamat lépéseinket és jelöljük melyik teremt értéket, melyik nem és melyik abszolút szükséges.

### 8.5.2.5. *Kanban*

A folyamataink által termelt értékek hasznosságát a vevőink határozzák meg, ezért a Lean termelés egyik alapköve, hogy a gyártásunk volumenét, de már az ehhez vezető folyamatokat is a vevőtől érkező adatok, megrendelések irányítsák. Ennek hagyományos eszköze a Kanban kártya. Ez egy információs kártya, amely lehet valós fizikai vagy az informatikai rendszer része.

A termékekkel, nyersanyagokkal ellentétes irányban mozog és a következő folyamat pontos igényeit közvetíti az azt megelőző felé.

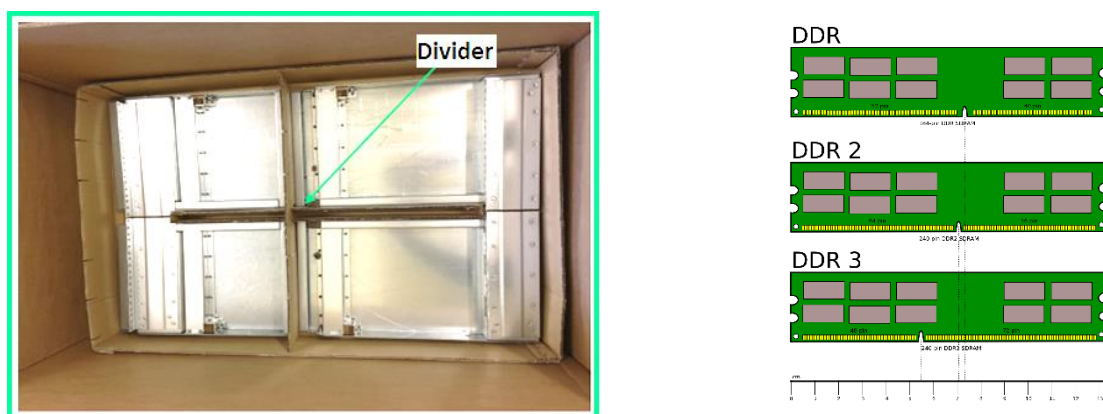
### 8.5.2.6. *Kaizen*

Célja az alulról építkező Japán minőségszemlélet előnyeinek kiaknázása. Alapja, hogy a folyamatot legjobban az azt végzők ismerik, ők tudják, mely kis változásokkal lehet elérni jobb

minőséget, kevesebb hibát, vagy pedig rövidebb ciklusidőt. A Kaizen ötletek közé nem férnek bele olyan javaslatok, melyek beruházással járnak, kötöttek technológia (vagy ügyfél) által. De sokszor kis átalakításokkal, változtatásokkal meglepően nagyfokú optimalizáció, javítások érhetők el. Az ötletek, kérések opcionálisan anonim módon gyűjthetők és címezhetők. A Kaizen koordinátor összegyűjti az ötleteket és a területek felelősei válaszadási kötelezettséggel tartoznak. A bevezetett ötletek megfogalmazói jutalomban részesülnek a javaslat által okozott költségmegtakarítás, előnyök mértékének megfelelően. A válaszadási kötelezettség biztosítja, hogy ne lehessen az ötleteket megalapozott adatok nélkül lesöpörni.

#### 8.5.2.7. Poka-yoke

Hibabiztos, egyszerű és hibázást kizáró alkalmazások, eszközök előtérbe helyezése.



8.18. ábra: Poka-Yoke csomagolás<sup>4</sup>

<sup>4</sup> forrás: IBM DSS, Wikimedia Commons

## 8.6. SIX SIGMA

### 8.6.1. A Six Sigma története

A folyamatfejlesztés mai alapjainak története az 1800-as évekig vezethető vissza, többek között a Carl Friedrich Gauss által leírt Harang görbéig (Normál eloszlás), ami a későbbiekben a mérési standardok kialakításában jelent meg. A tömeggyártás korábban jellemzően kis szériáknál (pl. óragyártásnál) volt jelen. A nagy szériájú tömegtermelés Henry Fordnak köszönhető, aki a szabványosított eszközökkel és az első mozgó összeszerelő sor kialakításával komoly előrelépést hozott nem csak mennyiség, hanem minőség tekintetében is, hiszen a veszteség típusoknak külön hangsúlyt szentelt (ez a Lean alapeleme is).



8.19. ábra: Tömeggyártás<sup>5</sup>

Ahogy kialakult a jól mérhető tömegtermelés és a minőségi követelmények is egyre magasabbak lettek, a következő lépést a gyártási környezetben a folyamatok kontrollálhatósága jelentette. 1924-ben Walter A. Shewhart kidolgozta a statisztikai kontrol ábra módszerét (SPC – Statistical Process Control), amellyel a különböző folyamatok stabilitását vizsgálta, valamint bevezette az általános és speciális okokra visszavezethető variációkat a folyamatban. Az 1900-as évek közepén alkotta meg Karou Isikawa a Halszálka (Isikawa) diagrammot, ami ok–hatás elemzés néven is ismert.

Az 1980-as években, a Motorola észrevette, hogy a modern technológia annyira bonyolulttá vált, hogy az elfogadható minőségi szintről alkotott régi elv már nem állja meg a helyét. A Motorola

<sup>5</sup> forrás: <http://americanhistory.si.edu/american-enterprise-exhibition/corporate-era/mass-production>



egyik mérnöke a termékek életútjának tanulmányozása közben észrevette, hogy azok a termékek, amelyek már a gyártásból hibamentesen kerültek ki, a vevőnél is sokkal ritkábban hibásodnak meg. Ezzel szemben azon termékeket, amelyeken már a gyártás során is jelentkeztek meghibásodások, sokkal előbb kellett a vevőnél is javítani. Azoknál a termékeknél pedig, amelyek már eredetileg is hibásak voltak, sokkal nagyobb eséllyel jelentek meg később is hibák. Ez azt jelenti, hogy észrevenni és megjavítani egy hibát, még nem biztosítja a jó minőségű terméket. A hiba megtalálása és javítása pedig nem egyenlő a hiba megelőzésével, ahogy azoknak költsége is különböző. A hiba megelőzésének az a leghatékonyabb módja, ha olyan gyártási folyamatokat alakítanak ki és vezetnek be, amelyek lehetetlenné teszik a hibák előfordulását. A Motorola arra koncentrált, hogy „hogyan” végzik a munkát az egyes folyamatokban. Így megelőzheték a hibát, s többé nem volt szükség javításra, ezzel együtt pedig az eredmény is magasabb minőségű termék lett.

Mivel a Motorola-nál nagyon sok különböző folyamat volt, **kifejlesztették a Six Sigma mérőrendszert**, amely bármely folyamatra alkalmazható. A korábbi mérési módszert, amely a 100 lehetőségre vetített hibák számát vette számításba, nem találták eléggé részletesnek, így kialakították az új mérési egységet, ami 1 millió lehetőségre vetítette ki a hibák számát. Ekkor használták először az angol terminológia szerint a DPMO-t (Defect Per Million Opportunity). 1986-ban Bill Smith és Mikel J. Harry - a módszertan atyjai - standardizálták az egy millióra vetített hibák mérését, s kialakították a folyamatfejlesztési módszertant, aminek jelentős eleme a kulturális változás is. A Six Sigma módszertan bevezetését követően a Motorola komoly növekedésnek és fejlődésnek indult, a módszertan eredményeként több mint 17 milliárd USD megtérülést jegyeztek fel (1986-2004 között). Ennek az eredménynek köszönhető, hogy 1988-ban elsők között nyerték el a Malcolm Baldrige National Quality nagydíjat. 1989-ben a Motorola bejelentette, hogy a folyamataikban elérik, hogy nem ejtenek 3,4 hibánál többet 1 millió legyártott darabszámra tekintve a következő 5 évben. Ez a bejelentés és a korábbi eredmények megváltoztatták a minőségre irányuló gondolkodást az amerikai iparban.

Nem sokkal ezután a nagy amerikai gyártócégek, így a Xerox (a következő év Malcolm Baldrige díj egyik győztese), GE, Kodak, Allied Signal is bevezették a módszertant. A Six Sigmát a General Electric tette a legnépszerűbb menedzsment-filozófiává, így indult el a módszertan világhódító útjára. A GE-nél az akkori igazgató, Jack Welch vezette be és ezzel minden GE által gyártott termék megfelelt a Six Sigma követelményeinek. Ez azonban nagy erőfeszítéseket igényelt: nagyszabású tréningek és előadások sorozatát. Szerencsájukra voltak korábbi programjaik, melyre építhettek, például a GE alkalmazottak retorzió nélkül elmondhatták véleményüket, több felelősséget kaptak munkájukban, megszüntették a felesleges hulladékot, és kidolgoztak egy

közös célt, aminek eredményeként a GE alkalmazottak elhivatottak lettek a Six Sigma iránt. 1991-re a cég elérte az 1,5 milliárd dolláros megtakarítást.

A Lean és a Six Sigma módszertana eleinte külön fejlődött. Amíg a Six Sigma fő mozgatója a variancia és a hibák csökkentése, addig a Lean szemléletnek a veszteségek csökkentése és a folyamat egyszerűsítése a célja. A két módszertan ötvözésének lehetősége 2001-ben merült fel, mellyel mindkét filozófia előnyeit harmonizálni lehetett, s azóta is ez a két módszertan ötvözése az egyik legnépszerűbb a folyamatfejlesztési területeken.

### **8.6.2. A Six Sigma definíciója**

A Six Sigma (hat szigma) egy olyan módszer, amely rendszerezett, statisztikán alapuló eszköztárat, technikákat nyújt (elsősorban a vállalatoknak) ahhoz, hogy az (üzleti) folyamatok képességét javítsák. A fókuszában maga a folyamat áll, amely alatt elsősorban, de nem kizárólagosan, a termelési folyamatokat értjük. Ezek javítása, a hibák megelőzése, a folyamatokban előforduló javítások csökkentése, megszüntetése gyorsabbá teszi a gyártást és növeli a termelékenységet. Ezeket kell kombinálnunk ahhoz, hogy sikeresen növeljük eredményeinket.

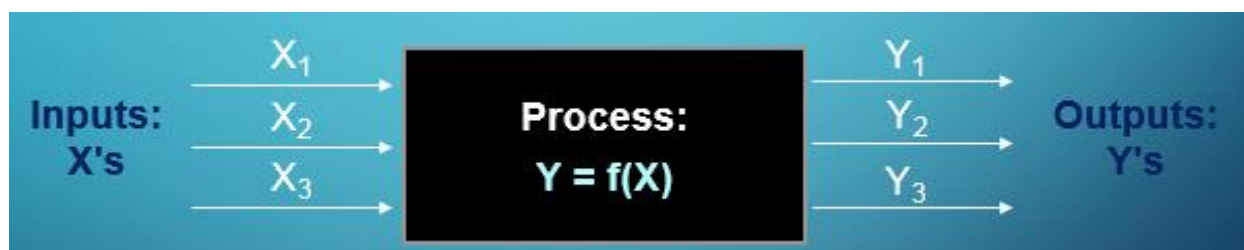
### **8.6.3. A Six Sigma folyamat fókusza**

A Six Sigma folyamat fókuszában olyan folyamatos és rendszeres tevékenységek vagy tevékenység sorozatok állnak, amelyek határozott módon és körülmények között mennek végbe vagy végzik el azokat, és amelyek valamely eredmény létrehozásában végződnek. Másképpen megfogalmazva (Keller és társai., 1999): Egy folyamat bemenetek, műveletek és kimenetek kombinációja. Talán még többet mondhat az alábbi megfogalmazás (Anjard, 1998): A folyamat tevékenységek sora, melyek egy bemenethez értéket adnak és azt kimenetként szolgáltatják a megrendelő számára.

Eredménye lehet termék, szolgáltatás, információ, tehát például egy cég számlázási tevékenysége is folyamat. A Six Sigmában a folyamatjavítás célja a teljesítmény növelése és a teljesítmény (minőség) ingadozásának csökkentése. Ez a teljesítménynövekedés és az ingadozás csökkenése hibacsökkenéshez, valamint profittnövekedéshez, a munkamorál javulásához, a termék

minőségének javulásához vezet, ami végső soron kiemeli az adott céget az átlagosan teljesítő vállalatok sorából.

A Six Sigma elnevezés a statisztika tudományából származik: a standard szórás jelölője. Egy normál eloszlásnál a lehetősége annak, hogy egy érték a hat szigma tartományába esik, 0.9999966 (99.99966 százalékos valószínűség). Egy gyártási folyamatra leképezve ez azt jelenti, hogy amennyiben a hibák normál eloszlásúak egymillió termékből mindössze 3-4 darab hibás keletkezik. Ez egy extrém alacsony szám, és talán egy csavargyárban ez túl szigorúnak tűnhet, de ha a repülő gépipart tekintjük, ez a szám ott még mindig túl magas. Egy ilyen, “hat szigmás” folyamatot lényegében úgy jellemezhetünk, hogy annak extrém alacsony az ingadozása, és extrém magas a konzisztenciája vagy stabilitása. Statisztikailag fogalmazva a Six Sigma egyik legfontosabb célja, hogy csökkentjük a folyamat ingadozását (növeljük a stabilitását) annak érdekében, hogy a hibák minél alacsonyabb szórását érjük el. A Six Sigma abban különbözik más minőségbiztosítási módszertanoktól a leginkább, hogy nemcsak a termék minőségének, hanem az üzleti folyamat minden részének javítását célozza. Példaképpen, a Six Sigma segítségével létrehozhatunk jól megtervezett, rendkívül megbízható, stabil számlázási és projektmenedzsment-rendszereket is. Ugyanakkor a segítségével lehetőségünk nyílik arra is, hogy a folyamatjavítás során minden lehetséges javítási szempontot megvizsgáljunk, és a javítási folyamat során a lehető legjobb eredményt hozzuk ki abból, amivel rendelkezünk, és legfőképpen, ne álljunk meg a javítással a szemlátomást (hétköznapi megközelítésben) teljesen ésszerű, kézenfekvő megoldásoknál és elégségesnek tűnő lehetőségeknél.



8.20. ábra: A Six Sigma folyamata

A 8.20. ábra bal oldalát adják a bemenetek, amik szükségesek a folyamat végbemenetéhez (így lehet például a munkaerő, alkatrészek, eljárások, alapanyagok, tudás, stb.), míg a jobb oldalon a folyamat eredményének a kimenete(i) láthatók (így a kész termék, kész szolgáltatás, információ, dokumentáció, stb). A Six Sigma önmaga is egy folyamat. Ha követjük, biztosak lehetünk abban, hogy elérjük a kívánt eredményt, vagy azt a lehető legjobb, amit a rendelkezésünkre álló körülmények lehetővé tesznek.

#### **8.6.4. A Six Sigma matematikai alapja**

A Six Sigma jelentése: hat szigma. A szigma a görög ABC egyik betűje. A matematikai statisztikában ezt a kifejezést bármely folyamat eloszlásának vagy a középérték (átlag) körüli szórásának jellemzésére használjuk, vagyis az ingadozást kifejező paramétere. Egy üzleti vagy gyártási folyamat esetén a szigma olyan mutató, amely jelzi, hogyan teljesít a folyamat, azaz a folyamat minőségét mutatja, amely annál jobb, minél nagyobb a szigma értéke. Ezzel együtt a folyamat hibamentes munkavégzési képességét is méri, hogy milyen nagy a hibák előfordulásának valószínűsége. Hiba lehet bármi, ami vevői elégedetlenséget okoz. Minél nagyobb a szigma értéke, annál kevésbé valószínű, hogy egy folyamat hibát produkál, következésképpen a szigma növekedésével együtt nő a vevői elégedettség. (Fontos kiemelni, hogy a vevő alatt nem csak a teljes folyamat végeredményének felhasználóját értjük, hanem az egyes folyamatlépések eredményeinek vevőit is). Azért 6 szigma a módszertan neve, mert a normál eloszlásoknak az átlagtól lefelé és felfelé 3 - 3 szigmányira terjedő tartományát jelenti, ahol a változó értékeinek várhatóan 99,73%-a esik ebbe a tartományba. A Six Sigma-val foglalkozó szakemberek különböző mutatókat határoztak meg: megalkották a közös mérési mutató, a "hiba-per egység", a PPM (parts per million) fogalmát, ami az egymillió legyártott termékben keletkező hibás termékek számát jelenti. Az egység bármi lehet – egy alkatrész, egy darab anyag, kódsor, ügyviteli űrlap, távolság stb. Ezt továbbfejlesztve később létrehozták a korábban már említett DPMO-t (defect per million opportunities), ami az egymillió hibalehetőségre eső hibák számát jelenti. Ezek teszik lehetővé bármely folyamat mérését, ahol hibát lehet elkövetni, mind a termelési, mind a szolgáltatási területen.

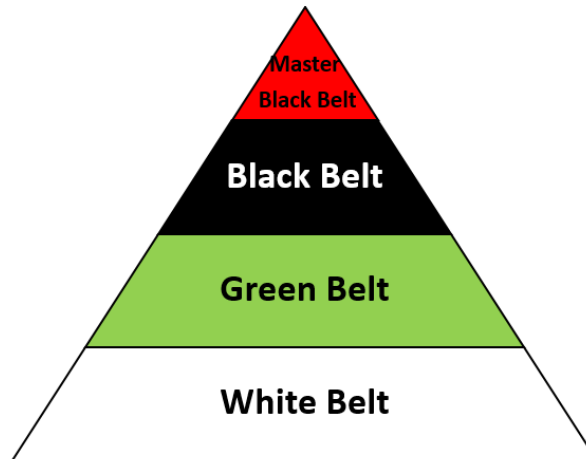
#### **8.6.5. A Six Sigma filozófiája**

A korábban már tárgyalt statisztikai mérőrendszer révén a módszer lehetővé teszi, hogy összehasonlításokat végezzünk más hasonló, vagy akár eltérő termékekkel és folyamatokkal. Más szavakkal, a Six Sigma segít előrejutni a teljes körű vevői elégedettségért folyó versenyben. Ez nagyban segítheti versenyképességünk növelését. Ennek oka nagyon egyszerű: amint javul egy folyamat szigma értéke, javul a termékminőség és csökken az önköltség. Ennek eredményeként természetesen a vevő is elégedettebb lesz. A Six Sigma egy szemléletmód, ahogyan dolgozunk a minket körülvevő üzleti világban. A fő hangsúlyt a folyamatos javításra helyezi az alkalmazottak aktív részvételével és bevonásával, és amelynek alapvető célja a vevő igényeinek teljes mértékű kielégítése, mindezt nyereség produkálásával. A filozófia lényege a kifinomultabb, és nem a keményebb munka. A cél, hogy a vevő kiszolgálása érdekében a folyamatokban ejthető hibákat,

hibalehetőségeket a lehető legminimálisabbra csökkentjük. Ez azt jelenti, egyre kevesebb hibát kell ejtenünk mindenben, amit teszünk – termékeink gyártásától kezdve (a szolgáltatásokon keresztül) egészen egy beszerzési rendelésig. Amint feltárjuk és megszüntetjük a változékonyság káros forrásait, emelkedik szigma-értékünk. Ez azt jelenti, hogy folyamatképességünk javul és a hibák száma csökken. A Six Sigma egy fejlett, magas színvonalú folyamatot tükröz, mely segít rávilágítani a fejlesztendő területekre és megvalósítani a közel tökéletes szolgáltatásnyújtást. Az elv mögött meghúzódó gondolat az, hogy ha mérni tudjuk mennyi hibával dolgozunk folyamatainkban, akkor el is tudjuk őket hárítani, s így megközelíthetővé válik egy hibátlan folyamat. A hibalehetőség gyakorlatilag nem csak a megfelelést, a vevői igények nem teljesítését is jelentheti. Ahhoz, hogy a szervezetben a Six Sigma sikeres legyen, mindenkit be kell vonni, és érdekelté kell tenni függetlenül a vállalatban elfoglalt pozíciójától. A Six Sigma célja, hogy eredményesebbé és hatékonyabbá tegye az egész szervezetet. Az eredményesség annak a mértéke, hogy egy szervezet kielégíti és felülmúlja-e a vevői szükségleteit és elvárásait. A hatékonyság az anyagi javak felhasználása az eredményesség érdekében. A menedzsmentnek is aktívan közre kell működni a Six Sigma alkalmazásába, nem elég, ha csak támogatják azt. A Six Sigma stratégia több mint eszközök és technikák összessége. A menedzsmentnek azonosítani kell a szervezet kulcsfolyamatait és a folyamatképességgel mért hatékonyság és eredményességadatait össze kell gyűjtenie. Így lehet a folyamatokat fontosságuk szempontjából azonosítani és besorolni. Ahhoz, hogy a Six Sigma sikeres legyen a szervezetben, a projektek első „hullámjának” is sikeresnek kell lennie. Ezek a sikeres projektek segítik a munkatársakat abban, hogy megértsék, a Six Sigma értük van. A többi minőségmérőrendszer hagyományosan a minőségköltségre fókuszál, a Six Sigma azonban abban hisz, hogy a minőség ingyenes, mivel minél többet tesz a nulla-hibástermelés érdekében, annál nagyobb lesz a befektetés megtérülése. A Six Sigmánál a matematikai statisztikai módszerek ismeretére erősen támaszkodnak, melyek alapot adnak a tényeken alapuló döntéshozatalnak, ugyanakkor csak a matematikai statisztikai módszerek ismerete nem elégséges feltétele a sikeres költségcsökkentő programoknak.

#### **8.6.6. A Six Sigma szervezeti felépítése**

A módszertan felépítése piramis szerű, amelyben a tudás szintje a piramis csúcsa felé növekszik, az egyes szinteken lévő kollégák száma pedig csökken. A szintek kialakításában a Judo övrendszerét használták fel:



8.21. ábra: A Six Sigma ismeretekkel rendelkező kollégák a szervezetben belül

- A Fehér öv (White Belt) a Six Sigmáról alapvető ismeretekkel rendelkező kollégát jelöli.
- A Zöld övvel (Green Belt) rendelkező személy speciális tudással bír, melynek birtokában Zöld öves projekteket vezethet, s tag lehet más projektjében.
- A Fekete öves (Black Belt) olyan magasan képzett dolgozó, aki a Zöld övesekkel tartja a kapcsolatot, mentorálja a projekteket és saját projekteket is kivitelezhet.
- A Mester Fekete öves (Master Black Belt) a Six Sigmás ismeretek és képességek szervezetben belüli legmagasabb szintű képviselője, szervezet vezetője, az alatta lévő szintek mentora.

A 8.21. ábra nem jelölt, ám néhány szervezetben használt két további szint:

- a Sárga öves (Yellow Belt) kolléga, aki a Six Sigma módszertan működési alapelveit ismeri, projektek csapattagja.
- A Barna övvel (Brown Belt) rendelkező dolgozó, aki a Zöld és Fekete öves tudás közötti szintet képviseli.

### 8.6.7. Six Sigmas lépései (DMAIC)

A módszertan elsődleges folyamatfejlesztési struktúrája szempontjából 5 alapvető elemre bonthatjuk, amelyek egymásra épülnek a Projektben belül.



1. **Define (Definiálás) fázis célja:** kialakítani a csapatot, elérni a szponzort s vele együtt meghatározni a Project célját, hatáskörét, kereteit, a vevőt, s megtenni a pénzügyi és teljesítésitménybeli célkitűzést.
2. **Measure (Mérés) fázis célja:** Megbízható mérési rendszer kialakítása, mérés, jelenlegi állapot felmérése, meghatározni hogyan ismerhető fel, ha a cél teljesül. Megbecsülni Projecthez kapcsolódó időkeretet és költségeket.
3. **Analyse (Analízis) fázis célja:** Az összegyűjtött adatok, ismeretek, információk felhasználása a gyökérok kutatáshoz, hipotézisek felállítása s tesztelése statisztikai módszerekkel. Gyökérokok között felkutatni a legnagyobb befolyásoló erővel bírót.
4. **Improve (Fejlesztés) fázis célja:** Az eddig felkutatott gyökérokokra alapozva a megoldási ötletek kidolgozása, tesztelése, bevezetési tervezése, kivitelezése.
5. **Kontroll (Control) fázis célja:** A fejlesztések utáni eredmények felmérése s elemzése, stabilizálása, fenntartási terv kialakítása.

#### 8.6.8. Design Thinking

A Lean és Six Sigma módszertanokhoz hasonlóan a Design Thinking is egy probléma megoldó szemléletmód. Fókuszában a vevő vagy vevők csoportja áll s az általuk képviselt problémák. A módszertan célja, hogy arra ösztönözze a probléma megoldó csapatot, hogy jobban megismerje a vevő(ket) s újszerű, korábban akár nem létező opciókat tervezzenek. A módszer sikerének a kulcsa, hogy nem csak a probléma megoldására koncentrál, hanem a vevő környezetébe, kulturális közegébe illeszkedő lehetőségek kifejlesztését. A probléma maga nem csak egy fizikailag megfogható termék lehet, hanem folyamatok is, így több területen használható.

A folyamatot 5 lépésre oszthatjuk:

1. **Empathize (Megértés):** A vevővel (vevőkkel) készített interjú, mely során a felhasználó problémáinak, helyzetének pontos felmérése zajlik, elsődleges kép kialakítása arról, mi is az igazán fontos számára. Valamint, a vevő szituációjának megértése a személyes történeteinek keresztül.

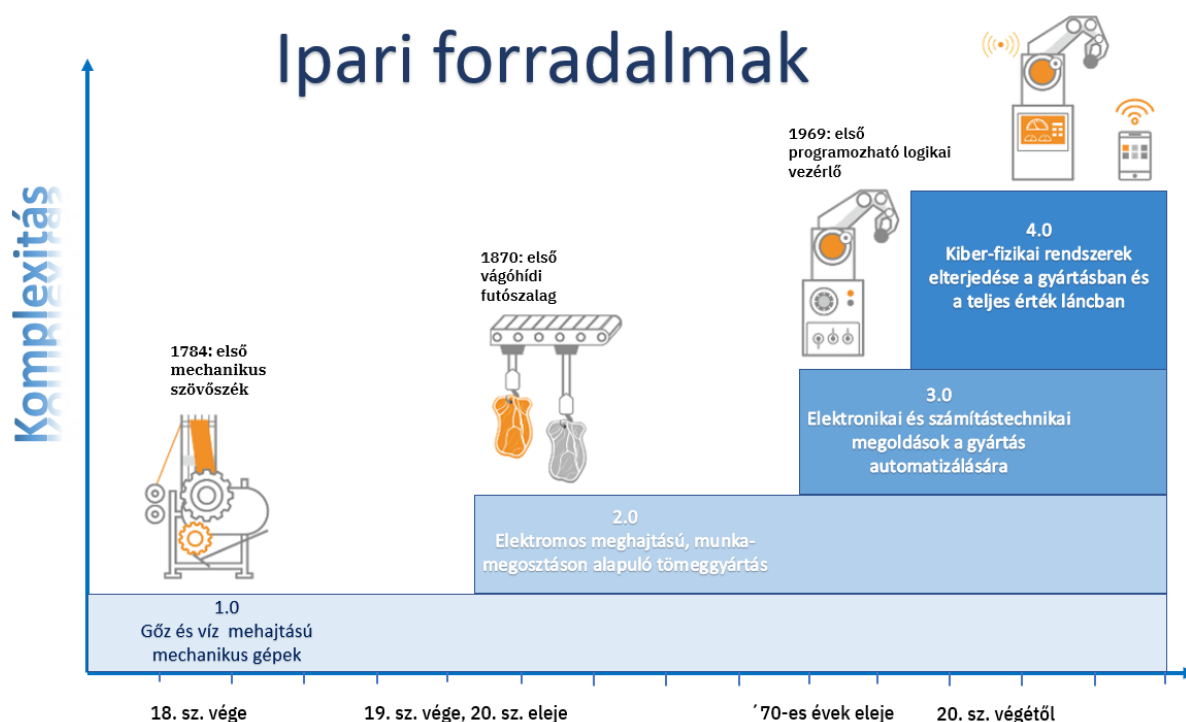
2. **Define (Meghatározás):** A probléma meghatározása az interjú eredményei alapján, mik is a vevő alapvető szükségletei.
3. **Ideate (Ötletelés):** A szükségletekre reagálva azokra megoldási ötletek kreálása, a hangsúly a mennyiségen, s rajzokat készíteni hozzájuk. Ezen ötletek bemutatása a vevőnek, s visszajelzés gyűjtése az eddigi ötletekről.
4. **Prototype (Prototípus):** A visszajelzésekre reflektálva összegezni az eddig hallottakat, s a vevő kontextusába helyezni, hogyan szolgálja a szükségleteit. Ezekkel együtt kialakítani a hallottaknak megfelelő prototípust.
5. **Test (Tesztelés):** A kialakított prototípus tesztelése a Vevővel együtt, s újabb visszajelzések gyűjtése.

Az utolsó két - három lépést addig lehet folytatni s beépíteni a megfigyeléseket, míg kialakítjuk e megfelelő megoldást, ami teljes mértékben megfelel a Vevői szükségleteknek.

## 9. A JÖVŐ IPARA – IPAR 4.0.

### 9.1. AZ IPARI FORRADALMAK TÖRTÉNETE

A technológia fejlődés időről-időre olyan ugrásszerű változásokat generál az iparban, ami magával hozza a gazdaság gyökeres átalakulását és ezzel párhuzamosan a társadalmi struktúrákat is átrendezi. Az elmúlt pár évszázad során három olyan radikális változás volt az ipar fejlődésében, amelyeket bizonyos mérföldkövekhez kapcsolva különítünk el (9.1. ábra):



9.1. ábra: Ipari forradalmak<sup>6</sup>

#### Első ipari forradalom:

Az első ipari forradalom a gőzgépek megjelenésével lehetővé tette a munkafolyamatok gépesítését és az emberi munkaerő részleges kiváltását, ezzel párhuzamosan a gőzhajók és a gőzmozdonyok pedig kiszámíthatóbbá tették az alapanyag ellátást.

#### Második ipari forradalom:

Az elektromosság feltalálása, és annak olcsó szállíthatósága adott lendületet a második ipari forradalomhoz, aminek egyik fő eleme a szerelőszalagok megjelenése volt. Az elektromos és robbanómotoros technológiák valódi tömegtermelést tettek lehetővé, az elektromos világítás

<sup>6</sup> Forrás: [www.digitalizationindustry.com](http://www.digitalizationindustry.com)

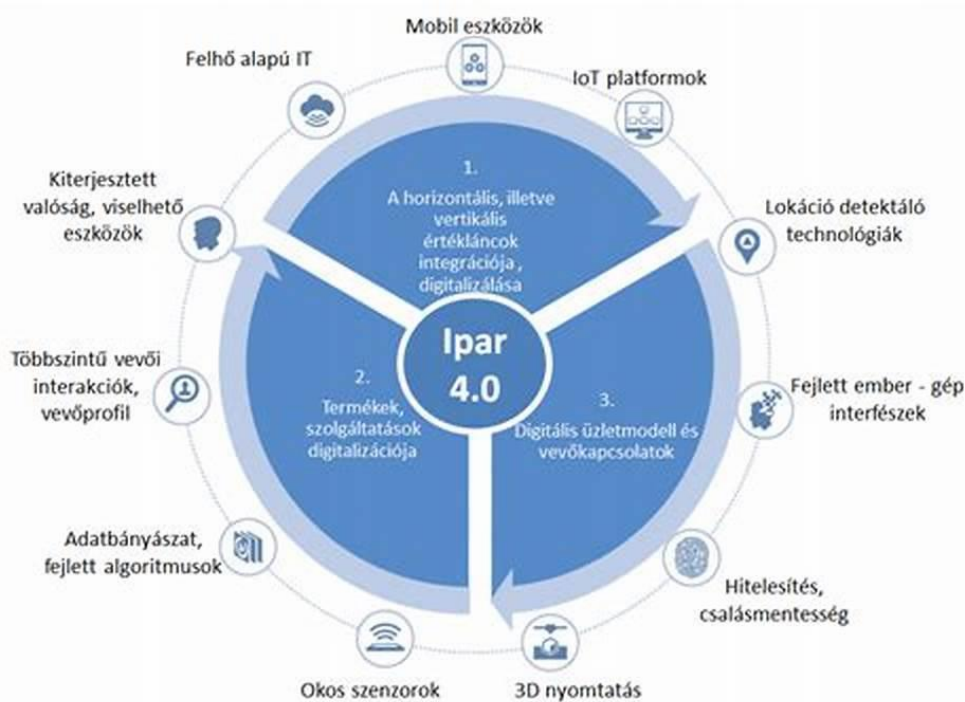
pedig segítette a három műszakos termelés elterjedését.

### **Harmadik ipari forradalom:**

A félvezetők és a számítástechnika elterjedése a hatvanas években radikálisan változtatta meg a termelést, megteremtve a lehetőségét az automatizálásnak. Rohamos fejlődésnek indult az internet, ami lökést adott a globalizációs folyamatoknak és a verseny kiéleződésének, ezzel is nyomást képezve a piaci szereplőkre, hogy újabb fejlesztések felhasználásával tartsák meg versenyképességüket a globális piacon.

### **Negyedik ipari forradalom - Ipar 4.0:**

Sok technikai vívmány, ami az alapját adja a most kibontakozó negyedik ipari forradalomnak már az előző érában is létezett, de ezek összekapcsolása és új módon való hasznosítása ötvözve az új megoldásokkal fogják a mai világunkat gyökeresen megváltoztatni.



9.2. ábra: Ipar 4.0.<sup>7</sup>

Ezekre a változásokra először 2011-ben Németországban hívták fel a figyelmet és kezdték el az Ipar 4.0 megnevezéssel illetni és 2013-as CeBite óta pedig egyre szélesebb körben foglalkoznak a témával. Az Európai Parlament 2016-ban megfogalmazott állásfoglalása szerint:

<sup>7</sup> Forrás: [www.leansisigma.hu](http://www.leansisigma.hu)

*„Az Ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, melynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással az értéklánc mentén: a jövő egy olyan „okos” gyárat hozva létre ezzel, amelyben a számítógép-vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján.”<sup>8</sup>*

A **digitális forradalom** által létrehozott új technológiák (dolgok internete - IoT, felhőalapú informatika, Big Data stb.) a fizikai korlátok lebontása által új értéket teremtenek: a kiterjedt adatgyűjtés és az interneten keresztül megszerzett tudás révén a korábban csak fizikai térben létező termékek, szolgáltatások kiterjeszhetővé, teljesen újraépíthetővé válhatnak. Az így kiterjesztett kiber-fizikai rendszerek a mesterséges intelligenciát felhasználva segítenek teljesen átformálni, optimalizálni a folyamatokat így hatékonyabbá, versenyképesebbé téve a termelést.

## **9.2. AZ IPAR 4.0 ELEMEI**

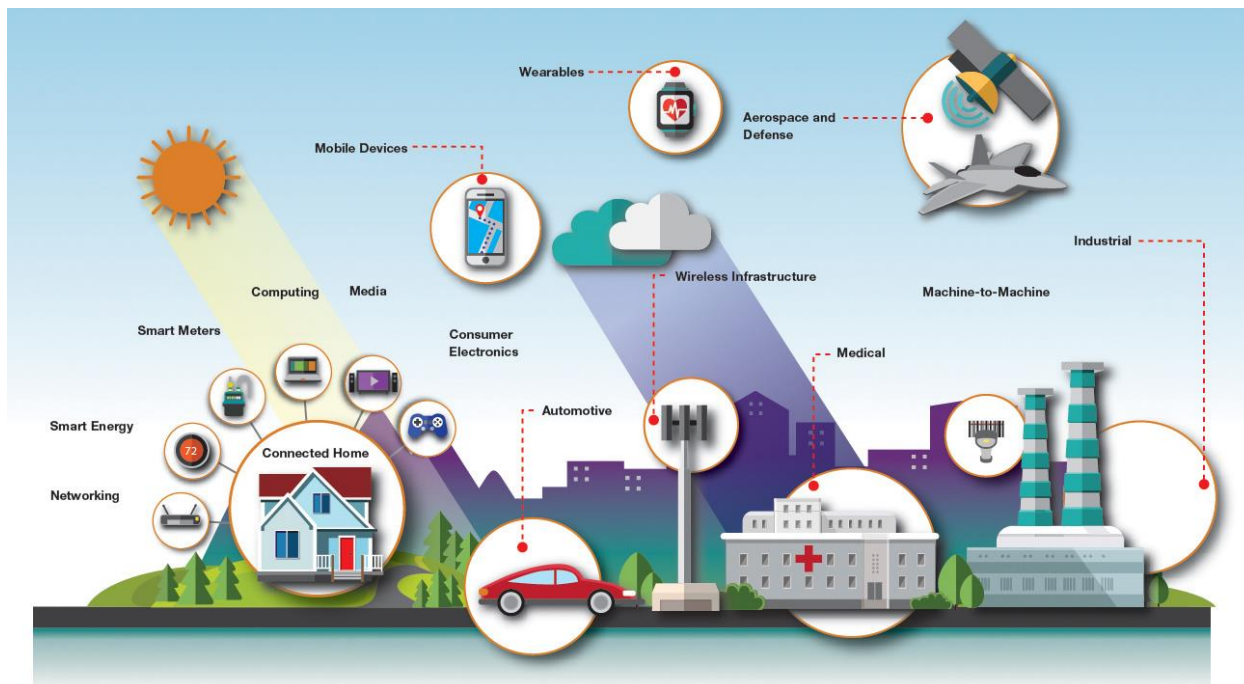
### **9.2.1. Információk digitalizálása**

A modernizáció alapja a digitalizáció, a világ leképezése adatok formájában. A változások egyik fő generátora a begyűjtött és felhasznált adatok kiterjesztése mind vertikálisan, mind pedig horizontálisan, olyan átfogó adatintegrációs hálózatokat létrehozva, amelyek lehetővé teszik, hogy a vállalaton belüli és a vállalaton kívüli folyamatokat figyelembe véve optimalizáljuk a teljes, integrált értékláncot.

A fejlődés alapja a „**Dolgok internete**” (**Internet of Things; IoT**), *ami magában foglal minden olyan eszközt, amely hálózatra csatlakozik és kétirányú kommunikációra képes a működése közben.* Ezek az eszközök képesek felismerni valamilyen lényegi információt (ezekhez különböző szenzorokat használ) és azt egy internet alapú hálózaton egy másik eszközzel kommunikálni.

---

<sup>8</sup> Forrás: [Industry 4.0 Policy Department Economic and Scientific Policy](#), 2016, p 22-23.



9.3. ábra: Dolgok internete<sup>9</sup>

Az IoT (9.3. ábra) önmagában nem támaszkodik semmilyen új technológiai áttörésre vagy találmányra, korábban is meglévő technikai megoldásokon alapul. Amiben viszont jelentős változást hozott az az aktívan kommunikáló eszközök száma és azok felhasználási módjai, főleg, ha kihasználjuk az eszközök által szolgáltatott nagy mennyiségű információt és az aktív automatizált vezérlés nyújtotta öntanuló rendszerek lehetőségeit.

### Technológiai alapok:

- széles körben elterjedt, olcsó és magas átviteli sebességű mobil internet elérés;
- olcsón elérhető magas számítókapacitású és kis energiafelvételű CPU/GPU processzorok;
- alacsony árú szenzorok.

Gyakorlatilag szabadon választható számú és típusú tárgyat (szenzort, kamerát, aktuátort stb.) összekapcsolhatunk egy központi irányítórendszerrel, ami a folyamatosan beérkező információk alapján elemzi, összehangolja és önmagát optimalizálva működteti a rendszerünket.

A kereskedelmi- és ipari IoT egyrészt alacsonyabb bekerülési költség mellett tudja modernizálni, extra “képeséggel” felruházni a meglévő berendezést és megoldásokat, mintha le kellene cserélni

<sup>9</sup> Forrás: MVP Journal of Engineering Sciences



és modernizálni a komplett rendszert másrészt a korábban össze nem kapcsolt rendszerek között tud szinergiákat teremteni, ami jelentős hatékonyság növekedéssel és anyagi előnyökkel jár.

### **IoT rendszerek alapelemei:**

1. *szenzor*- érzékelő, ami valamilyen paramétert mér (hőmérséklet, fényerő, páratartalom, távolság stb.)
2. *vezérlő egység* - összegyűjti a bejövő információkat, elemzi és ha szükséges megváltoztatja az eszköz működését
3. *aktuátor* - a vezérlő egység utasítása alapján végrehajt valamilyen változtatást (LED, kijelző, elektromotor, robotkar, hangszóró, stb.)

Ezek a részek lehetnek egyetlen eszközbe integrálva és állhatnak sok-sok elemből is, amiket a hálózatra csatlakoztatottság köt össze.

Az IoT segítségével a gyártásban résztvevő minden egység, azok érzékelői, és maguk a félkész termékek is beágyazott intelligenciával és hálózati kapcsolattal rendelkezhetnek és szenzorok folyamatosan szolgáltatják a valós idejű információkat a gyártási folyamatokról ezzel megteremtve az “egyedi tömeggyártás” alapját.

### **Egyéb adatszolgáltató rendszerek felsorolása:**

Az adatokat szolgáltató rendszerek és eszközök jó része egyben felhasználói a visszaérkező információknak, utasításoknak is (pl. smart robots). A folyamatosan változó és fejlődő technológiák közül néhány, szélesebb körben alkalmazottak az alábbiak:

1. **Elektronikus adatcsere (Electronic Data Interchange; EDI):** Az ellátási lánc szereplői közötti szabványosított elektronikus adatközlést és -cserét jelenti. (pl. az EDI segítségével a szállító valós időben kaphat információt a vevője készletfogyásáról).
2. **Machine-to-Machine (M2M) technológia:** olyan adatáramlást jelent, mely emberi közreműködés nélkül, gépek között zajlik. A kommunikáció minden olyan gép között létrejöhethet, amely a megfelelő technológiával van ellátva ahhoz, hogy bekapcsolható legyen a rendszerbe. A gép-gép közötti kommunikáció nem csak egyszerű adatáramlást, hanem önálló döntéshozatalt és beavatkozást is jelenthet.
3. **MES (Manufacturing Execution System):** magyar jelentése „termelésvégrehajtási rendszer”, tulajdonképpen egy a termelési folyamatokat felügyelő számítógépes rendszer,

amely a vállalat gyártási folyamatainak valós idejű felügyeletét jelenti. A rendszert a korábbi 8.2. *MES rendszerek* című fejezet részletesen bemutatja.

- 4. Rádiófrekvenciás azonosítás (Radio Frequency Identification; RFID):** A technológia lényege a rádiófrekvenciás adó-vevő egység kommunikációja a megfigyelt objektumokon elhelyezett RFID címkékkel. A kommunikáció önműködően történik, akár emberi beavatkozás nélkül, így nem szükséges minden egyes csomagot egyenként leolvasni, a rendszer a leolvasó kapun áthaladó összes termék címkéjét egyszerre olvassa le és viszi fel az adatbázisba.
  
- 5. Szimuláció, virtuális és kiegészített valóság (Augmented Reality, AR):** A 3D szimulációt már széles körben használják a termékek tervezése során az anyagok, a szerkezetek és a termelési folyamatok modellezésére, és egyre jobban terjed a gyártásban is. A kiegészített valóság alkalmazása az ipari folyamatokban nagy lehetőséget rejteget, így például segíthet a megfelelő alkatrészek kiválasztásában, vagy a javítási utasítások megjelenítésében, segítségével a munkatársak valós időben juthatnak a döntéshozatalhoz szükséges releváns ismeretekhez és tájékoztatáshoz. (Digital twin: egy adott fizikai eszköz digitális verziója, amely lehetővé teszi a dinamikus, 3D-s modellezést.)

### 9.2.2. Adat feldolgozás, elemzés

A gyártási folyamatokban a felhasznált adatok nagyrésze cégen belüli még, de a folyamatok és döntési mechanizmusok kiszélesítésével egyre több cégen kívüli információt kell a rendszerekbe integrálni. Ezek egy része más cégektől (pl. időjárás előrejelzés) vagy akár a szociális médiából gyűjtött információ, és így a formátumuk is egyre változatosabb (szöveg, képek, videók). Ezen adatok nagyrésze már nem előre strukturált és néha „sötét” (dark), nehezen felismerhető információkat tartalmaz.



## Big data

Az egyre gyorsabban generálódó hatalmas adatmennyiségek feldolgozásának első állomása volt a Big data, ami egy komplex technológiai környezetet jelent (szoftver, hardver, hálózati modellek), mely lehetővé teszi olyan adatállományok feldolgozását, amelyek annyira nagy méretűek és annyira komplexek, hogy feldolgozásuk a korábbi adatbázis-menedzsment eszközökkel jelentős nehézségekbe ütközött. Leegyszerűsítve a big data, mint fogalom a nagyon nagy mennyiségű, nagy sebességgel változó és nagyon változatos adatok feldolgozásáról szól.

## Mesterséges intelligencia

A következő lépés mikor nem csak feldolgozzuk és elemezzük az adatokat, de összefüggéseket keresünk és ezek alapján döntési javaslatokat adunk. Ez pedig már a **Kognitív Analitika** (Cognitive Analytics) vagy más néven a **Mesterséges Intelligencia / MI** (Artificial Intelligence / AI) világa.

A **Mesterséges intelligencia** a (MI) az emberi intelligenciának a leképezését jelenti gépek, leginkább számítógépes rendszerek által. Ez magában foglalja többek között:

1. **a megértést:** felismer és értelmezni tud strukturált és nem strukturált adatokat (szöveg, képek, videók)
2. **az értelmezés képességét:** képes megérteni, értelmezni fogalmakat, hipotéziseket formálni és következtetéseket levonni, ötleteket generálni
3. **a tanulást:** minden újabb információval, interakcióval és megoldással fejleszti és élesíti szakértelmét így folyamatosan tanul és képes az önkorrekcióra.
4. Mindezeket pedig folyamatos **interakciókon** keresztül éri el mind emberekkel mind más rendszerekkel kommunikálva.

A mesterséges intelligencia, illetve kognitív számítástechnika fő célja az emberi képességek kibővítése azáltal, hogy az automatizálható folyamatokat rábízunk, míg a komplexebb folyamatoknál a döntéshez szükséges széleskörű információk, illetve a döntési lehetőségek megadását várjuk tőle.

A mesterséges intelligencia számos különböző technológiát foglal magában, ezek közül néhány:

- 1. Automatizálás:** A segítségével folyamatokat, rendszereket lehet automatikusan működtetni. Például a robotok/gyártórendszerek MI támogatott automatizálása során már nem csak az adott feladatsort tudja automatikusan elvégezni egy egység, de képes alkalmazkodni a változó körülményekhez (környezeti változók, alapanyag minőség, termék típus, a gyártási sorban megelőző és későbbi folyamatok visszajelzései) is és azok alapján optimalizálni a saját működését.
- 2. Gépi tanulás (machine learning):** Mesterséges intelligenciát úgy is létre lehet hozni, hogy a lehetséges események millióira előre beprogramozzák a lehetséges válaszokat. Izgalmasabb módszer, ha csak az alapvető képességekkel látják el a gépet, amely egy csecsemőhöz hasonlóan, az alapoktól kezdi megszerezni az ismereteit. Ezek a gépek megfigyeléseikből és tapasztalataikból saját maguk vonnak le következtetéseket, így tulajdonképpen már nem programozni, hanem tanítani kell őket egy-egy specifikus terület kiismeréséhez. A **deep learning** abban tér el a hagyományos gépi tanulástól, hogy több rétegben, vagyis több lépcsőben dolgozza fel a bejövő információt. Mindegyik réteg csak a maga feladatát végzi el, képfelismerés során például az egyik réteg csak a pixelek elhelyezkedését vizsgálja, egy másik pedig mondjuk az éleket keresi, és így tovább.
- 3. Gépi látás:** azon megoldások összessége, mely lehetővé teszi, hogy a gépek "lássanak". Ez a technológia rögzíti és elemzi a vizuális információkat. Egy kamera által rögzített információkat először analógról digitálissá alakítja, majd pedig azt digitális jelfeldolgozással elemzi. Gyakran hasonlítják az emberi látáshoz, de a gépi látást nem köti gúzsba a biológia és be lehet programozni akár arra is, hogy átlásson a falon. Számos területen lehet alkalmazni az aláírás azonosítástól az orvosi képelemzésig.
- 4. Természetes nyelvek feldolgozása (Natural language processing - NLP):** az emberi nyelv feldolgozása számítógépes programmal. Az NLP régebbi és leismertebb példái közé tartozik a levélszemét-felderítés, ami az e-mail címsorát és szövegét vizsgálva dönti el, hogy szemét-e. Az NLP jelenlegi megközelítései gépi tanuláson alapulnak. Az NLP feladatok közé tartozik a fordítás, hangulelemzés szöveg alapján és a beszédfelismerés is.
- 5. Robotika:** a mérnöki fejlesztések egy területe a robotok tervezésére és gyártására összpontosít. A robotokat gyakran olyan feladatok elvégzésére használják, amelyek az emberek számára nehezen végrehajthatóak vagy gondot okoz a folyamatos, egyenletes végrehajtás. Ezeket az autógyártásban használják a gyártósorokon vagy a NASA által nagy tárgyak mozgatása során.

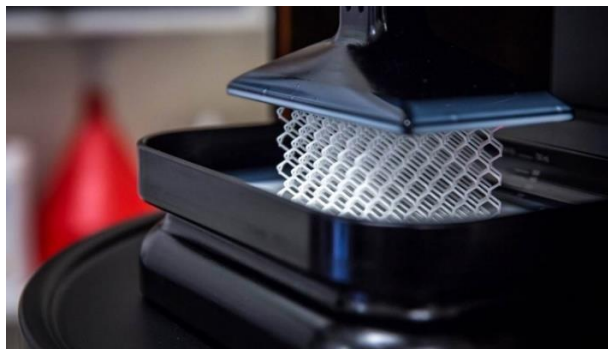
A robotika és a gépi tanulás ötvözésével alakították ki az ún. kollaboratív vagy autonóm robotokat, (Smart robot) amelyek az emberekkel közvetlenül képesek együtt dolgozni, feladatuk az emberi tevékenységek támogatása. Képesek a környezetükben és az emberek, valamint a többi robot működésében bekövetkező változás észlelésére és működésének a szituációhoz történő önálló adaptálására.

### **Additív gyártás (3D printing, Additive Manufacturing)**

Ennek a gyártási technológiának az alapja, hogy alkotóelemekből építi fel a legyártandó tárgyat egy 3D modell alapján. Ezzel egyrészt a prototípus gyártást és a modellezést lehet nagyban meggyorsítani és olcsóbban megoldani, másrészt sokkal rugalmasabban változtatható, hogy az adott géppark milyen terméket gyártsion így az „egyedi tömeggyártás” egy fontos eleme ez a technológia.

A felhasznált alapanyagok és eljárások (SLA, DLP, SLS, EBM, MJ) határozzák meg, hogy milyen célokra és milyen költség szinten alkalmazható a 3D nyomtatás, mint gyártástechnológia. Gyakori alapanyagok:

- műanyagok (ABS, PA, PLA, PC, PP, PET)
- kerámia
- fémek



9.4. ábra: 3D Nyomtatás<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Forrás: <https://all3dp.com/1/top-3d-printing-companies-3d-printer-manufacturers/>

### 9.2.3. Információk biztonságos kezelése és tárolása

#### 9.2.3.1. Felhő (Cloud)

A digitalizációval a tárolt adatok mennyisége rohamosan növekedett és ez egyre nagyobb adattárolási, adatkezelési kapacitásokat igényelt ráadásul mindezt a lehető legbiztonságosabb módon. Ezekre az igényekre fejlesztették ki a felhő alapú szolgáltatásokat (cloud computing), aminek a lényege, hogy adatainkat, programjainkat nem a saját számítógépeinken, hanem a szolgáltató által működtetett eszközökön tároljuk, futtatjuk úgy, hogy az bármikor, bárhol elérhető legyen számunkra. Így a cégeknek nem kell saját kiterjedt informatikai infrastruktúrát fenntartani és folyamatosan fejleszteni, hanem az aktuális szükségleteinek legjobban megfelelő szolgáltatásokat, kapacitásokat veheti igénybe, csak az igénybe vett szolgáltatásokért fizetve.

Típusai:

1. **Szoftverszolgáltatások (Software as a Service)** – a szoftvert nyújtják szolgáltatásként, melyet egy böngészővel lehet használni.
2. **Platform szolgáltatás (Platform as a Service)** – egy adott alkalmazás működéséhez szükséges környezetet biztosítja.
3. **Infrastruktúra szolgáltatás (Infrastructure as a Service)** – lényegében egy virtuális szerveret biztosít, tárhellyel, számítástechnikai kapacitással.

Hozzáférhetőség szerint három alaptípus van:

1. **Publikus felhők** – a szolgáltató a saját hardverjeit használja
2. **Privát felhők** – saját hálózaton belül épít ki felhőalapú megoldásokat
3. **Hibrid felhők** – az előző kettő kombinációja.

#### 9.2.3.2. Informatikai biztonság (cyber security) és Blokklánc (Blockchain)

A számítógépes és egyéb rendszerek hálózatba csatlakoztatásával kitértük a kaput a kiber (cyber) bűnözés előtt. Az informatikai biztonság (cyber security) magában foglalja, az adatok és a rendszerek védelmét a kiber bűnözéssel szemben, mint például számítógépes terrorizmus, informatikai hadviselés és kémkedés.

A digitális korszakban az adatok értéke és fontossága felértékelődik. Egyfelől az információt védenünk kell az illetéktelenektől, másfelől biztosítani kell, hogy azok a szereplők, akiknek valós szüksége van az információra, hiteles forrásból jussanak hozzá. Ennek a megoldására szolgál a *Blockchain*, magyarul *Blokklánc*.

Mind az üzleti életben mind a magánéletünkben folyamatosan csereberéljük értékeinket, legyenek azok ingó vagy ingatlan vagyontárgyak. Ezeket a cseréket különböző módon dokumentáljuk, ami annál komplikáltabb, minél nagyobb értékről (például egy ingatlanról) van szó. A sok-sok dokumentáció mind arra szolgál, hogy mindkét fél bebiztosítsa, hogy a szerződésben szereplő adat valóságos és hogy minden érintett értesüljön a változásról (pl. a hatóságok). A magyarul blokkláncnak is nevezett rendszer lényege, hogy minden cseréről, tranzakcióról készül egy feljegyzés, amelyet a szereplők többségének el kell fogadni, majd ezt matematikai műveletek segítségével kódolják így létrehozva a blokkot. Minden blokk kapcsolódik az előtte és a mögötte lévőhöz, tartalmazva annak kódját, így létrehozva egy olyan láncot, amelyben az adatok nem változtathatók és egyetlen blokkot sem lehet beszúrni vagy kivenni.

A Blokklánc legfontosabb jellemzői:

1. **Megosztott információs rendszer:** Az adott láncban szereplők között megosztott a rendszer így nincs szükség a különböző nyilvántartási rendszerek egyeztetésére.
2. **Jogosultságokhoz kötött:** bár minden résztvevőnek a rendszere hozzáfér a blokkokhoz, de a benne lévő információhoz csak azok a résztvevők férnek hozzá, akik érintettek az adott tranzakcióban és jogosultságuk van hozzá.
3. **Megváltoztathatatlan:** egy adott tranzakció létrejöttéhez a résztvevők megegyezése, jóváhagyása szükséges, mely utána véglegesen bekerül a láncba. Blokkot még rendszer adminisztrátor sem törölhet, módosíthat.



## 9.3. GYAKORLATI PÉLDÁK: MODERN TECHNOLÓGIÁK AZ IPARBAN

### 9.3.1. SMT gyártósorok JIT anyagellátása Ipar 4.0 módszerek alkalmazásával

Az SMT gyártósorokon leggyakrabban a KANBAN rendszert alkalmazzák az anyagáramlás folytonosságának biztosítására. Ez egy nagyon jó módszer, viszont hátránya, hogy nagyszámú anyagot kell a termelésben tartani.

A több anyag többlet költséget jelent és a tárolásukra helyre van szükség, amit a gyártástól vesz el területet (helyére plusz gyártó kapacitást lehetne telepíteni). A gépkezelőnek nehéz megtalálnia a szükséges anyagot, mert nagy mennyiségből kell választania és néha nagyobb távolságot is meg kell tennie. Az anyagellátó csapatnak plusz idejébe kerül az anyagfogyás monitorozása.

Ezekre a problémákra nyújt megoldást az Ipar 4.0 módszerekkel támogatott JIT (Just In Time – Éppen időben) anyagellátás megvalósítása. A már meglévő, de külön-külön működő, valamint az újonnan, ennek a módszernek a támogatására létrehozott adatbázisok között kialakításra került az elektronikus adatcsere (Electronic Data Interchange; EDI).

A beültető gépek „tudják” a bennük lévő anyagok mennyiségét és azt, hogy az adott gyártási kapacitás mellett ezek a mennyiségek mennyi ideig elegendőek. Az anyagkezelési rendszer figyel, hogy a gépek melletti ideiglenes tárolókon mennyi anyag áll rendelkezésre a gyártáshoz. Ha a gépekben és a mellettük lévő tárolókon lévő anyagmennyiség kritikus érték alá esik, a rendszer jelzi az anyagellátó csapatnak, hogy pótlás szükséges.

**A rendszer részét képezik az anyagkihordó AGV robotok.** Az AGV egy mozaikszó az *Automated Guided Vehicle* angol szóból származik. A szó jelentése magyar nyelven: *Automatikus irányítású jármű*, amit szokás még vezető nélküli járműnek is hívni.

Az AGV-k feladata az anyagellátó csapat által összeállított anyagok eljuttatása az SMT gyártósorok mellé, illetve visszafelé a hulladék elszállítása is.

EXPORT			ADMIN	Select Printer	Logout	TraxMon R	Replicated: 2016-Feb-16 10:36:06						
LINE	RECIPENAME	M...	SLOT	PN	HANDLER	SPARE Q	RMT	RMB	PTS NO	QTY	MAX	Q/B	ST
Line-DA		5	1/1/18/0	LFHB2854015OSP	MSL Level = 3			-1	E607570238-0001	134	153	0	12
Line-DA		6	1/1/44/0	LFHB2687674	MSL Level = 3			-1	E607572800-0001	1772	2000	0	12
Line-DA	DLFHB2588366_B	6	1/1/9/0	LFHB2709422OSP			00:25:58	50	E607592535-0001	50	100	1	0
Line-DA	DLFHB2588366_B	6	1/1/18/0	LFHB2709430OSP			00:25:58	50	E607592352-0001	50	100	1	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	2	1/1/22/0	LFHB1360086			01:17:50	146	E607527091-0002	6720	10000	46	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	5	1/1/25/0	LFHB2453452			01:27:09	152	E607392958-0002	914	4000	6	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	2	1/1/23/0	LFHB1370065		8000 (2)	01:29:26	163	E607528744-0004	1813	4000	60	15
Line-DB	DLFHB2588366_T	4	1/1/21/0	LFHB1305591			01:29:27	155	E607424037-0007	2023	4000	13	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	5	1/1/42/0	LFHB1282638			01:33:16	163	E607252168-0001	163	3470	1	0
Line-DA	DLFHB2588366_B	8	1/1/10/0	LFHB2687674			01:44:30	209	E607644641-0001	209	2000	1	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	8	1/1/13/0	LFHB2223511			01:49:54	193	E607477935-0002	193	2500	1	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	5	1/1/21/0	LFHB2644071			01:50:59	194	E607613718-0001	1358	3000	7	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	7	1/1/32/0	LFHB1345532			01:52:38	195	E607534072-0005	1950	3000	10	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	7	1/1/24/0	LFHB1650424			01:52:59	195	E607610829-0011	2543	3000	13	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	4	1/1/27/0	LFHB1749838			01:53:30	197	E607647933-0001	987	5000	5	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	3	1/1/24/0	LFHB1569597			01:59:04	223	E607611867-0005	7144	10000	32	0
Line-DB	DLFHB2588366_T	2	1/1/20/0	LFHB1818521			01:59:20	223	E607611148-0001	895	10000	4	0

9.5. ábra: Alapanyag fogyasztás előrejelző rendszer

A rendszer folyamatos fejlesztés alatt áll, jelenleg a *Smart tower* elnevezésű anyagátoló tornyok tesztelése folyik. A Smart tower magyarul *Okos tornyot* jelent, az okos szó utal az Ipar 4.0 technológiák felhasználására. A Smart tower feladata lesz átvinni az anyagokat az AGV-ktől, eltárolni és a szükséges időben a gépkezelő rendelkezésére bocsájtani. Ezzel a sorok melletti átmeneti tárolóról nem tűnhetnek el nyom nélkül anyagok, a rendszerben lévő alkatrészek mennyisége pedig mindig pontos és naprakész lesz. A gépkezelőnek nem szükséges keresgetni az anyagot, mindig azt kapja meg amire éppen szüksége van.

### 9.3.2. Nyomatási és beültetési hibák automatikus korrekciója

A korábban említett M2M technológiára példa a *Closed-loop* rendszer. A szó jelentése magyarul *Zárt-lánc* vagy *Zártláncú rendszer*, ami a működési elvre utal és ellenőrző-, valamint gyártógépek összekapcsolásából áll.

Az SPI és pasztanyomtató gépek, illetve a kemence előtti AOI és az SMT beültetőgépek állnak egymással kapcsolatban. Az ellenőrzőgépek bizonyos offset-es nyomatási vagy beültetési hiba esetén visszajelzést küldenek a gyártó berendezéseknek, amik az adott információ alapján automatikusan korrigálják a hibát.

## 10. ELEKTRONIKAI HULLADÉKOK KEZELÉSE

### 10.1. HULLADÉK FOGALMA, CSOPORTOSÍTÁSA

A hulladék hivatalosan elfogadott definíciója a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény szerinti megfogalmazás, mely szerint hulladéknak számít *„bármely anyag vagy tárgy, amelytől birtokosa megválnak, megválni szándékozik vagy megválni köteles.”*

A hulladékgazdálkodás a hulladékok teljes életére vonatkozó tevékenységek összessége. Tehát a hulladékgazdálkodás végigköveti a hulladékok keletkezésének megelőzését, a keletkezett hulladékok csökkentési lehetőségeit, gyűjtését, szelektálását, hasznosítását, tárolását és a nem hasznosítható anyagok ártalmatlanítását is. A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény szerint a **hulladékgazdálkodás definíciója** a következő: *„a hulladék gyűjtése, szállítása, kezelése, az ilyen műveletek felügyelete, a kereskedőként, közvetítőként vagy közvetítő szervezetként végzett tevékenység, a hulladékgazdálkodási létesítmények és berendezések üzemeltetése, valamint a hulladékkezelő létesítmények utógondozása”.*

A hulladékokat 3 fő csoportba lehet sorolni:

1. Települési vagy kommunális hulladékok
2. Termelési hulladékok
3. Veszélyes hulladékok

### 10.2. KOMMUNÁLIS HULLADÉKOK

A települési hulladékokat is két nagy csoportra lehet bontani: települési szilárd és települési folyékony hulladékokra. Települési szilárd hulladékok a háztartási hulladékok, a közterületi hulladékok és a háztartási hulladékokhoz hasonló összetételű hulladékok. Települési folyékony hulladékok, az inert hulladékok, a biológiai hulladékok, a közműpótló berendezésekből eredő hulladékok, a nem közüzemi árok- és csatornarendszerekből származó hulladékok és azok a technológiai eredetű hulladékok, melyek nem termelési hulladékok.

A települési hulladékok csoportosítása:

**Települési szilárd hulladékok:** A háztartási hulladékok az emberek mindennapi tevékenységéből származnak, például a lakóházakban, nyaralókban, intézményekben keletkező hulladékok. A

közterületi hulladékok parkokban, közösségek által használt területeken keletkeznek.

- 1. Települési folyékony hulladékok:** Idetartoznak azok a szennyvizek, melyeket nem csatornahálózaton és nem szennyvíztisztítókon keresztül vezetnek el. Ilyen hulladékok például az épületekhez tartozó szennyvíztárolók, melyeket bizonyos időközönként üríteni kell, a nem közüzemi csatornarendszerből származó szennyvíz és azok a szennyvizek, melyek gazdasági tevékenységből származnak.
- 2. Inert hulladékokról** beszélünk, ha a hulladék esetében nem történik fizikai, kémiai vagy biológiai átalakulás és nem befolyásolja kedvezőtlenül környezetét. A biológiai hulladékok szerves anyag tartalmúak és jellemző rájuk az aerob vagy anaerob bomlás.

### 10.3. TERMELÉSI HULLADÉKOK

Azok a hulladékok tartoznak ebbe a csoportba, melyek valamilyen ipari tevékenységgel kapcsolatban keletkeznek, különböző gyártási folyamatok vagy anyag átalakítási műveletek folyamatában. Keletkezhet a termelés, csomagolás, feldolgozás, elektronikai szerelés vagy szállítás során. Termelési hulladékokkal jellemzően nem találkozunk a mindennapokban, hiszen ezek elszállításáról és kezeléséről a vállalatok, gyárak gondoskodnak. Termelési hulladékok keletkeznek a következő tevékenységekből: ipari, mezőgazdasági műveletekből, bányászatból és szolgáltató tevékenységekből.

Ipari hulladékok a vegyiparból, a gépiparból, a könnyűipari tevékenységekből, építőiparból, élelmiszeriparból, elektronikai iparból és kohászatból keletkeznek. Mezőgazdasági hulladékok a növény- és állattenyésztéssel kapcsolatos tevékenységből származnak. Vannak speciális hulladékok is, melyek például a kórházakból származó esetleges fertőzött hulladékok, a robbanás- és tűzveszélyes hulladékok és a mérgező anyagok, melyek különleges kezelésre szorulnak, ártalmatlanítani kell ezeket.

A különböző tevékenységekből keletkező hulladékokat két csoportra lehet bontani: technológiai hulladékokra vagy amortizációs hulladékokra. A **technológiai hulladék** a termelés folyamata során keletkezik, ez alapján lehet üzemszerű vagy nem üzemszerű termelési hulladék. **Amortizációs hulladékok** például akkor keletkeznek, ha valamilyen berendezés, gép leselejtezésre kerül, mivel már nem működik megfelelően.

### 10.3.1. Elektronikai hulladékok

Az elektronikai és számítástechnikai eszközök gyors avulása miatt egyre növekszik azoknak a berendezéseknek és alkatrészeknek a mennyisége, melyek tulajdonosaik számára értéktelenné válnak. Ha ezek az eszközök a háztartási hulladék gyűjtőkbe kerülnek, akkor a kommunális hulladékkal megegyező utat járnak be, és a bennük található veszélyes anyagok a csapadékvíz hatására kimosódnak vagy égetés során a levegőbe jutnak.

Felgyorsult világunk egy újabb problémája, ami megint csak arra enged következtetni, hogy kissé rövidtávon gondolkodunk és hogy a kötelezőnek vett fejlődés "összinte költségeit" pedig figyelmen kívül hagyjuk. Ez nem más, mint az elektronikai hulladék. A lakossági elektromos és elektronikai hulladék (e-hulladék) a legnagyobb mennyiségben a következő elektromos és elektronikai berendezésekből keletkezik:

- Nagyméretű háztartási berendezések (mosógép, hűtőszekrény, ventilátor, mosogatógép)
- Kisméretű háztartási berendezések (porszívó, gyorsforraló, konyhai robotgép, kávéfőző)
- IT és telekommunikációs berendezések (számítógép, nyomtató, telefonkészülék, fax, mobiltelefon).
- Szórakoztató elektronikai berendezések (rádió, TV, hifi torony DVD lejátszó, házimozsi).

Vannak még további berendezés kategóriák is, így a háztartásokban található, valamennyi elektromos és elektronikai berendezés besorolható valamelyikbe.

Kutatások kimutatták, hogy a hulladék többségét, 60 százalékát öreg mikrohullámú sütők, mosógépek, mosogatógépek, más háztartási berendezések, irodai eszközök teszik ki.

A legtöbb elektronikai hulladékot az Egyesült Államok lakossága termeli, 2014-ban 7,072 millió tonnát. A második helyen Kína áll 6,032 millió tonnával, a harmadikon Japán 2,200 millió tonnával. Az európai országok közül Nagy-Britannia a legnagyobb e-hulladéktermelő, a ranglista ötödik helyén áll évi 1,5 millió tonnával, ez csak 100 ezer tonnával kevesebb, mint a negyedik helyen álló Indiáé, amelynek azonban 20-szor annyi a lakosa.

Miközben a fejlett országokban nagy mennyiségű elektronikus hulladék keletkezik - Norvégiában például tavaly lakosonként 28,4 kilogramm -, Afrikában tavaly kevesebb mint 1,7 kilogramm volt ez a szám. A jelentés szerint évi átlag 2 millió tonnával nő az e-hulladék, és 2018-ra nagysága

eléri a 50 millió tonnát.

A kidobott több millió tonna mobiltelefonnal, hűtőszekrényvel és más elektronikai eszközzel 300 tonna arany és egyezer tonna ezüst, 1900 tonna réz vész kárba, ezek összértékét mintegy 52 milliárd dollárra becsüli a jelentés. Kárba vész továbbá 16.000 tonna vas is, mivel az eszközök nem kerülnek be az újrahasznosítási programokba.

2005. augusztus 13.-a óta a kiterjesztett gyártói felelősség elve alapján jogszabály kötelezi az elektromos és elektronikai készülékek gyártóit, forgalmazóit a hulladékká vált elektromos és elektronikai berendezések visszagyűjtésére, hasznosítására, ártalmatlanítására. Az EU- és a hazai jogszabályi előírásoknak megfelelően, Magyarországon 2008-tól kell elérni a 4 kg/fő e-hulladék begyűjtését, hasznosítását. A lakosság térítésmentesen adhatja le hulladékká vált elektromos és elektronikai berendezéseit a hulladékgyűjtő udvarokban és az elektromos és elektronikai készülékeket forgalmazó kereskedőknél, azaz ahol vettük a készüléket, ott általában térítésmentesen át is veszik a hasonló típusú e-hulladékokat.

Azért is fontos az e- hulladék szervezett begyűjtése a lakosságtól a fent jelzett, vagy bármely más módon, mert a történelmi e-hulladékban gyakran előfordulhatnak olyan alkatrészek, melyek veszélyes komponenseket is tartalmazhatnak (ólom, hatértékű króm, kadmium, higany, stb.). Pontosan azért, hogy az e-hulladékban lévő, az emberre és környezetére veszélyes komponensek ne kerülhessenek ki a természetbe, az Európai Unió által meghatározott módon, a jogszabályi előírásoknak megfelelően kell az e-hulladékot előkezelni, hasznosítani és ártalmatlanítani. A begyűjtött elektromos és elektronikai berendezések jelentős része kisebb javítások árán ismét használhatóvá tehető, visszakerül a lakossághoz. Természetesen, vannak hasznos másodnyersanyagok is az e-hulladékban. Ilyenek a vaskéreg, réz, kábel, nyáklemmez, arany, ezüst. Ezekből a másodnyersanyagokból sokkal kisebb energiaráfordítás révén lehet ismét értékes termékeket nyerni, mintha ugyanezt ércet feldolgozásával tennénk.

A jogszabályi kötelezettségek teljesítése a gyártókra, forgalmazókra, kereskedőkre (Kötelezettek) vonatkoznak. Ahhoz, hogy a kötelezettségeiket teljesíteni tudják, nonprofit gazdasági társaságokat, koordináló szervezeteket hoztak létre, melyek a fenti kötelezettségeket díjfizetés ellenében átvállalják. Olyan üzemekkel kötnek teljesítési szerződéseket, melyek megfelelnek a jogszabályi követelményeknek.

A 10.1. táblázat az elektronikai iparban legtöbbször előforduló hulladéktípusokat mutatja.

10.1. táblázat: Az elektronikai iparban legtöbbször előforduló hulladéktípusok

HULLADÉKTÍPUS	HULLADÉK LEÍRÁSA	HASZNOSÍTÁS	HULLADÉK AZONOSÍTÓ KÓD
CD lemez	CD/DVD lemez, papír vagy műanyag tok nélkül	Újrahasznosítás	07 02 13
Műanyag előlap hulladék	elektronikai eszközök műanyag vagy fémtartalmú műanyag elő- és hátlapja,	Újrahasznosítás	07 02 13
Műanyag hulladék	más kategóriába nem sorolható műanyag hulladék, kivéve csomagolási hulladék	Újrahasznosítás	07 02 13
ESD fólia hulladék	ESD fólia	Újrahasznosítás	15 01 02
Műanyag tálcá, tok hulladék	színes és színtelen tálcák, CD műanyag tokja papír nélkül	Újrahasznosítás	15 01 02
IC-RAM tartó tálcá hulladék	műanyag tálcák	Újrahasznosítás	15 01 02
Beültetett panel	beültetett panel, amelyen alkatrészek vannak, kivéve BeO-s alkatrészek	Újrahasznosítás	16 02 16
NYÁK lap	alkatrész nélküli panel	Újrahasznosítás	16 02 16
Kábel	kábelek, fülhallgatók	Újrahasznosítás	16 02 16
Adapter, töltő	adapterek, töltők	Újrahasznosítás	16 02 16
Merevlemez	merevlemezek	Újrahasznosítás	16 02 16
Műanyag tartalmú elektronikai hulladék	billentyűzet, egér, távirányító, tápegység, hűtőventilátor, stb. (a termék részei, alkatrészei)	Újrahasznosítás	16 02 16
Fém és műanyag tartalmú hulladék	a termelésben elhasznált csiszolófejek, görgők, stb. amelyeknél a fém és műanyag részeket nem lehet szétválasztani	Újrahasznosítás	16 02 16
CD / DVD meghajtó	CD / DVD meghajtó	Újrahasznosítás	16 02 16
HDD keret	HDD-t tartó keret	Újrahasznosítás	16 02 16
LCD kijelző	mobiltelefon kijelzője	Újrahasznosítás	16 02 16
Fém hulladék	elektronikai eszközök fém alkatrészei, egyéb fém hulladékok, fém pántszalag	Újrahasznosítás	16 02 16
Alumínium hulladék	alumínium tartalmú elektronikai alkatrészek, hulladékok	Újrahasznosítás	16 02 16
Vegyes elektronikai hulladék	IC, processzor, csatlakozó, stb.	Újrahasznosítás	16 02 16
Bontásra elszállított elektronikai hulladék	elektronikai egységek, modulok	Újrahasznosítás	16 02 16
Réz hulladék	réz alkatrészek	Újrahasznosítás	16 02 16
Telefonkagyló hulladék	telefonkagyló	Újrahasznosítás	16 02 16
Irodatechnikai hulladékok	Tonerek, festékkazették, festékszalagok	Visszanyerés	08 03 17*
Ólmos ónsalak	forrasztásból származó ólmos salak	Újrahasznosítás	10 04 02*
Ólommentes ónsalak	forrasztásból származó ólommentes salak	Újrahasznosítás	10 08 08*
Üres vegyszeres csomagolóanyag hulladék	kiürült vegyszeres műanyag, fém, üveg kannák, flakonok, fecskendők	Égetés	15 01 10*
Aerosol palack hulladék	Hajtógáz palackok	Égetés	15 01 11*
Törlőkendő, védőruházat, Szennyezett abszorbens hulladék	Flux-szal szennyezett, festékes, olajos, ragasztós, zsíros törlőkendő, védőruházat, használt szorbensek (felitató anyagok)	Égetés	15 02 02*



Berillium-oxidos elektronikai hulladék	BeO-s alkatrészt tartalmazó beültetett panel	Égetés	16 02 15*
Maradék vegyi anyag/keverék hulladékok	Ha a csomagolásban több, mint 20% maradékanyag van.	Égetés	16 05 06*
Elhasznált fénycsővek hulladék	elhasznált fénycsővek	Visszanyerés	20 01 21*
Akkumulátor, elem hulladék	szárazelemek, mobil és laptop akkumulátorok	Visszanyerés	20 01 33*
Képcsöves monitor hulladék	képcsöves monitorok	Visszanyerés	20 01 35*
Számítógép, monitor hulladék	számítógép ház hulladék, hulladék monitor	Újrahasznosítás	16 02 14
Szilika gél hulladék	szilika gélmárakok	Újrahasznosítás	15 01 02
Elektronikai, elektromos berendezés hulladéka	Telephelyen leselejtezett elektromos berendezések Pl.: Klíma berendezés, IT berendezés	Újrahasznosítás	20 01 36
IC-k	Integrált áramkört alkatrészek, BGA-k	Újrahasznosítás	16 02 16

## 10.4. VESZÉLYES HULLADÉKOK

A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény szerint veszélyes hulladéknak minősül az a hulladék, mely az 1. mellékletben meghatározott veszélyességi jellemzők legalább egyikével rendelkezik.

Veszélyes hulladékok, azok a hulladékok, amik különösen károsíthatja a környezetet és az emberi egészséget. A Hulladékgazdálkodási törvényben (Htv.) alkalmazott megfogalmazás: *veszélyes hulladék az a hulladék, amelyik egyetlen hatályos hulladékjegyzékben sem szerepel vagy amelynek összetétele ismeretlen, illetve amely a veszélyességi jellemzők legalább egyikével rendelkezik.*

Ezek a tényezők a következők:

**H1 Robbanásveszélyes:** láng hatására robbanó anyagok, vagy ütésre, súrlódásra érzékenyebbek, mint a dinitrobenzol

**H2 Oxidáló:** más anyagokkal (különösen gyúlékony anyagokkal) érintkezve hőtermelő (exoterm) reakcióba lépő anyagok

**H3A Tűzveszélyes:**

- folyadékok, amelyek lobbanáspontja 21 °C alatt van
- olyan anyagok és készítmények, amelyek levegővel érintkezve felforrósodhatnak és öngyulladásra képesek

- szilárd anyagok, melyek gyújtóforrással való érintkezést követően könnyen meggyulladnak, és a gyújtóforrás eltávolítását követően is tovább égnek
- olyan gáz-halmazállapotú anyagok, amelyek a levegőn normál nyomáson gyúlékonyak,
- olyan anyagok, amelyeknek vízzel vagy vízgőzzel történő érintkezésekor tűzveszélyes gázok keletkeznek

**H3B Kevésbé tűzveszélyes:** olyan folyékony anyagok és készítmények, amelyek lobbanáspontja 21 °C és 55 °C közötti

**H4 Irritáló vagy izgató:** olyan (nem maró) hatású anyagok, amelyek a bőrrel, szemmel vagy a nyálkahártyával való érintkezésük esetén gyulladást okoznak

**H5 Ártalmas:** belélegzésük, lenyelésük vagy a bőrön át történő felszívódásuk esetén korlátozott egészségkárosodást okozó anyagok

**H6 Mérgező:** olyan anyagok, amelyek belélegezve, lenyelve vagy a bőrön keresztül felszívódva súlyos egészségkárosodást, akár halált is okozhatnak.

**H7 Rákkeltő (karcinogén):** belélegezve, lenyelve vagy a bőrön keresztül felszívódva rákot okozó, vagy annak valószínűségét növelő hatású anyagok, készítmények

**H8 Maró:** olyan anyagok, amelyek az élő szövetekkel érintkezve elroncsolhatják azt

**H9 Fertőző:** életképes patogén mikroorganizmusokat vagy azok toxinjait tartalmazó anyagok, amelyek betegséget okozhatnak az emberben vagy más élő szervezetekben

**H10 Reprodukciót károsító:** olyan anyagok, amelyek belélegezve, lenyelve, vagy a bőrön felszívódva fejlődési rendellenességet okozhatnak, vagy azok valószínűségét növelhetik

**H11 Mutagén:** olyan anyagok és készítmények, amelyek bejutva a szervezetbe örökletes genetikai károsodást okozhatnak, vagy azok előfordulási esélyét növelhetik

**H12 Mérgező gáz fejlesztésére képes hulladék,** ami vízzel, levegővel vagy savval történő érintkezés hatására jön létre

**H13 Érzékenységet okozó:** az élő szervezetbe bekerülve hiperérzékenységi reakciót kiváltó anyagok, amelyek ismételt expozíció esetén jellegzetes káros hatásokat is okoznak

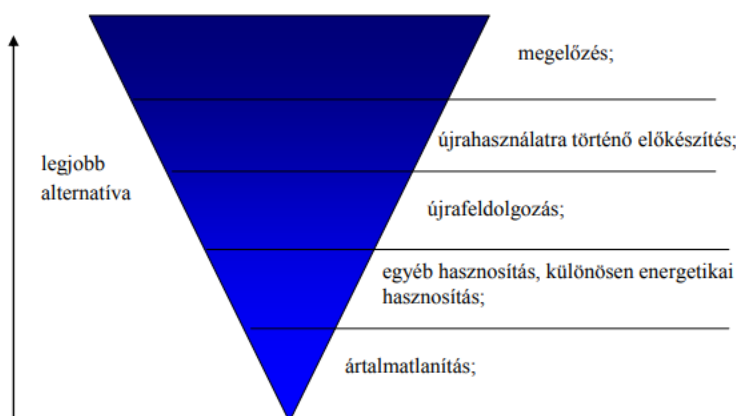
**H14 Környezetre veszélyes (ökotoxikus):** olyan hulladék, amely közvetlenül vagy közvetve

veszélyt jelent egy vagy több környezeti elemre

**H15:** Olyan hulladék, amelynek ártalmatlanítása során az előbb felsorolt tulajdonságok bármelyikével rendelkező anyag keletkezhet

## 10.5. HULLADÉKOK HASZNOSÍTÁSA

A keletkező hulladékok kezelési módjait az ötlépcsős hulladékpiramis mutatja be, melynek lépcsői a kezelés környezetre gyakorolt hatásai szerint alakulnak. (10.1. ábra)



10.1. ábra: Ötlépcsős hulladékpiramis

1. A legalsó szinten az *ártalmatlanítás* található, ide tartozik a hulladékok lerakása. Ez a legrosszabb hasznosítási mód a környezet szempontjából, mivel ezzel nem csökkentjük a hulladékokat, de a lerakással még terheljük is a környezetet. Ide tartozik még a hulladékok égetése is, mely csökkenti a hulladékok mennyiségét, azonban a folyamat során több energiát emészt fel, mint amennyit termel.
2. Az *egyéb hasznosítás* jellemzően energetikai hasznosítást jelent. A hasznosítás során a hulladékok szintén égetésre kerülnek, azonban az égetés során keletkező energia, felhasználásra kerül.
3. Ezután a hulladék *újrafeldolgozása* következik, ami azt jelenti, hogy a hulladékot terméké alakítják át valamilyen felhasználási céllal. Ez csak akkor tud megvalósulni, ha a hulladékok gyűjtése, szelektálása megfelelően történik. Ennek az előnye, hogy nem az elsődleges erőforrásokat kell felhasználni.
4. Az *újrahasználat* azt jelenti, hogy a keletkezett hulladékot ugyanabban a formában

lehet használni energiafelhasználás nélkül. Ide tartozik például, ha a kiürült üvegeket később újra felhasználják valami más tárolására.

5. A megelőzés a hulladékpiramis tetején található, ez a lehető legjobb megoldás a környezet szempontjából. Minél kevesebb hulladék keletkezésének megelőzése a cél, melyet környezettudatos vásárlással lehet elérni.

## 10.6. SZABÁLYOZÁS

A hulladékokra többféle jogszabály, szabvány vonatkozik a keletkezéstől, típustól, hasznosítástól, elhelyezéstől függően. Ebben a fejezetben azokat a szabályozásokat írom le, melyek a vállalatra is vonatkoznak valamilyen formában.

1. Legfontosabb törvény *a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV törvény*, mely kiterjed a hulladékgazdálkodásra, ezáltal minden hulladékkezeléssel foglalkozó létesítményre, a hulladékok keletkezésének megelőzésére és a hulladékok típusaira. Célja az emberi egészség védelme, a hulladékok által okozott környezetterhelés minimalizálása, a keletkező hulladékok legnagyobb mértékű hasznosítása, a nem hasznosítható hulladékok megfelelő ártalmatlanítása.
2. *A hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről szóló 309/2014. (XII. 11.) Korm. rendelet* vonatkozik a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvényben meghatározott hulladékokra, a hulladékok kibocsátóira és azokra, akik a hulladékokkal kapcsolatosan szállítási, gyűjtési, ártalmatlanítási folyamatokban részt vesznek.
3. *A hulladékjegyzékről szóló 72/2013. (VIII. 27.) VM rendelet* szerint kerülnek meghatározásra a keletkező hulladékok a vállalatnál.
4. *A hulladékgazdálkodással kapcsolatos ártalmatlanítási és hasznosítási műveletek felsorolásáról szóló 43/2016. (VI. 28.) FM rendelet* alapján határozzák meg az ártalmatlanítási és hasznosítási műveleteket.
5. *A települési szilárd és folyékony hulladékkal kapcsolatos közegészségügyi követelményekről szóló 16/2002. (IV. 10.) EüM rendelet* szerint a vállalat megfelelő hulladékgazdálkodási engedéllyel rendelkező partner megbízásával gondoskodik a követelmények teljesüléséről.

6. *A köztisztasággal és a települési szilárd hulladékkal összefüggő tevékenységekről szóló 1/1986. (II. 21.) ÉVM–EüM együttes rendelet* is vonatkozik a vállalatra.
7. *A hulladékolajjal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes szabályairól szóló 145/2012. (XII. 27.) VM rendelet* alapján a keletkezett hulladékolaj elszállításával egy megfelelő hulladékgazdálkodási engedéllyel rendelkező partner gondoskodik.
8. *Az elektromos és elektronikus berendezésekkel kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről szóló 197/2014. (VIII. 1.) Korm. rendelet* alapján valósulnak meg a vállalat gyűjtési, szállítási és kezelési szabályai.
9. *Az elem- és akkumulátorhulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről szóló 445/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet* vonatkozik a vállalatra, mivel a szervizelési tevékenység során az elektronikai termékekből keletkezik elem- és akkumulátorhulladék. A rendeletben meghatározott módon kerül gyűjtésre a hulladék és csak a jogosultnak kerül átadásra.
10. *A veszélyes hulladékkal kapcsolatos egyes tevékenységek részletes szabályairól szóló 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendeletben* a veszélyes hulladékok gyűjtési módjai vonatkoznak a telephelyre.
11. *Az egyes hulladékgazdálkodási létesítmények kialakításának és üzemeltetésének szabályairól szóló 246/2014. (IX. 29.) Korm. rendeletben* a munkahelyi gyűjtőhely és üzemi gyűjtőhely kialakításának és üzemeltetésének meghatározása vonatkozik a vállalat telephelyeire.

Az a vállalat, amely *ISO 14001 szabványt* működtet, tevékenységét az ISO 14001 irányelvei alapján végzi. Pontosabban, bizonyítja a környezettudatos elkötelezettségét azzal, hogy megfelel a vonatkozó jogszabályoknak és arra törekszik, hogy tevékenysége során egyre kevesebb hulladékot termeljen.

*A környezetközpontú irányítási rendszer (KIR)* segít a természeti erőforrások megóvásában, a határértékek betartásában, ezáltal a különböző szennyezések csökkentésében és az emberi egészség megtartásában. Célja, hogy a vállalatok a tevékenységük során minél jobban megóvják a környezetüket, ezzel versenyelőnyt szerezve a piacon.

A KIR-t működtető szervezeteknél a következő kedvező hatások valósulhatnak meg: csökken a szennyező anyagok kibocsátása, a keletkező hulladékok mennyisége, az anyag- és energiafelhasználás. Javul a hulladékok újrahasznosításának aránya, a hatóságokkal lévő kapcsolatok és a cég társadalmi, piaci és közösségi megítélése. Ezen kívül a KIR segítségével környezet biztos üzemeltetési feltételek alakulnak ki, melyek következtében csökken a kockázat is.

## **10.7. HELYTELENÜL KEZELT HULLADÉKOK KÖRNYEZETKÁROSÍTÓ KÖVETKEZMÉNYEI**

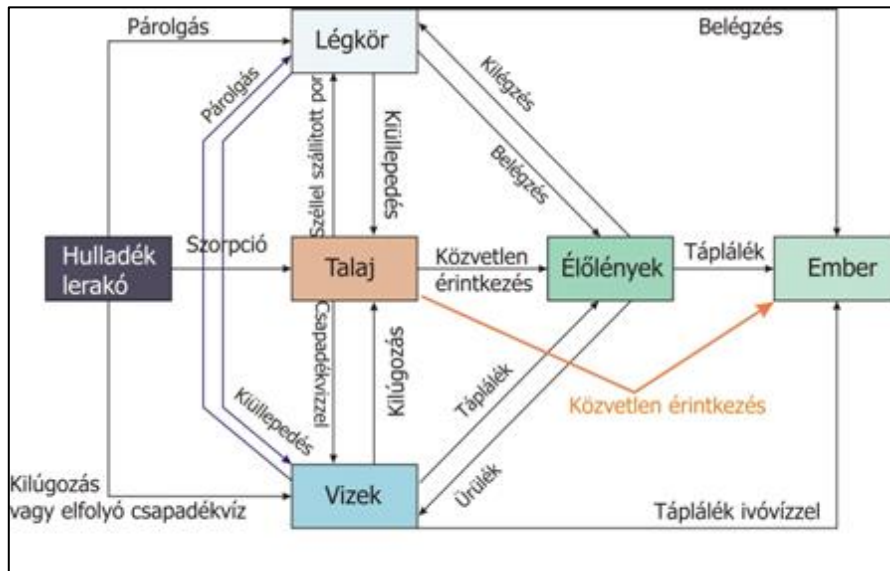
A helytelenül kezelt hulladékok környezetkárosító hatásai különbözőképpen jelentkeznek:

- okozhatja valamely környezeti elem (talaj, levegő, víz) szennyezését, ekkor a káros hatás hosszú ideig tart, s sok embert érint;
- okozhat káros hatást úgy is, hogy a hulladék káros anyagai a táplálékláncba beépülve (növény – állat – ember) valamennyi résztvevőt, az egész élővilágot, végső soron az ember egészségét károsítja.
- A környezetbe kibocsátott és nem megfelelően kezelt hulladékok környezetkárosító hatásai különbözőképpen jelentkeznek.

### **10.7.1. A talaj, talajvíz (felszín alatti vizek) és felszíni vizek szennyeződése**

A hulladékok leggyakoribb – évezredek óta – szükségszerűen természetes befogadója a talaj. A nem megfelelően kezelt hulladékokat, azok bomlástermékeit a csapadékvíz a talaj felszínén szétmossa, és az beszivároghat a talajvízbe, ahol az áramlás révén gyakran jelentős vízbázisokat veszélyeztethetnek.

A hulladék szerves és szervesetlen alkotói a csapadék vízzel kilúgozódva, különféle sók – klorid, nitrát, szulfát stb. – nehézfémek, szénhidrogének és nehezen bomló egyéb szerves szennyezők formájában közvetve a vízminőség romlását okozzák. A felszíni vizek közvetett és közvetlen szennyeződését eredményezik a nem megfelelően kezelt kommunális és ipari szennyvízbevezetések, esetenként a káresemények során szennyezett csapadékvizek is.



10.2. ábra: Hulladékok szennyeződési körforgása

### 10.7.2. A levegő szennyeződése

A szervesanyag-tartalmú hulladék bomlása során jellegzetes bűzös gázok keletkeznek (ammónia, hidrogén-szulfid stb.), a kezelés nélküli hulladékhalmok finom porát, illetve nagyobb darabjait (papír, műanyag fólia) azonban a szél vagy kisebb légmozgás is a levegőbe emeli. A hulladéklerakókon öngyulladás miatt, vagy a hulladékok nyílt téri égetésekor keletkező égéstermékek (füstgáz, korom, pernye) közvetlenül szennyezik a levegőt. Nem elhanyagolható a biológiailag bomló hulladékot tartalmazó hulladéklerakók üvegházhatást növelő metán- és széndioxid-kibocsátása sem.



## 11. FELHASZNÁLT ÉS AJÁNLOTT IRODALOM

Kapcsolódó IPC szabványok:

- <http://www.datron.de/IPC-A-610D>

### 2. fejezet: Az Elektronikai technológiában alkalmazott alkatrészek

- Illyefalvi-Vitéz Zsolt – Elektronikai technológia. Segédlet az "Elektronikai technológia" (BMEVIET3029) és a "Műszertechnológia II" (BMEVIET0135) tárgyakhoz; 2006., Budapest, Műegyetemi Kiadó 36-42. oldal
- Joe Belmonte, Srinivasa Aravamudhan – Considerations in the Development of the 01005 Component Assembly Process;
- Speedline Technologies; [www.speedlinetech.com/docs/01005-1Assembly.pdf](http://www.speedlinetech.com/docs/01005-1Assembly.pdf); 2007. március [wikipedia.org](http://wikipedia.org)
- Katalógus: Generalpurpose 2%, 5% tolerancethickfilmchipresistor; KOASpeerElectronics; [www.koaspeer.com/pdfs/res1.pdf](http://www.koaspeer.com/pdfs/res1.pdf); 2007. április
- Katalógus: Ceramic chip capacitors; KOA Speer Electronics; [www.koaspeer.com/capacitors.asp?part=8](http://www.koaspeer.com/capacitors.asp?part=8); Ceramic chip capacitors; 2007. április
- Selection Guide By Package Type; National Semiconductor; [www.national.com/packaging/parts/#PLASTIC](http://www.national.com/packaging/parts/#PLASTIC); 2007. április IPC-7351 LP Software Upgrades; PCB Libraries, Inc.
- [www.pcblibraries.com/forum/forum\\_posts.asp?TID=756](http://www.pcblibraries.com/forum/forum_posts.asp?TID=756); 2007. április Katalógus: Practical Components Inc.; Sub 100micron Daisy Chain <http://www.practicalcomponents.com/pdf/2006-1PCI-1catalog.pdf>; 2007. április BGA; TechEncyclopedia; [www.techweb.com/encyclopedia/defineterm.jhtml?term=bga](http://www.techweb.com/encyclopedia/defineterm.jhtml?term=bga); 2007. április
- Applied know-how in Printed Circuit Board Design; Sysacom R&D plus inc.; [www.sysacom.com/PCBDesign](http://www.sysacom.com/PCBDesign); 2007. április [http://www.vidiot.ca/tips/carnevil/Carnevil\\_PCB.jpg](http://www.vidiot.ca/tips/carnevil/Carnevil_PCB.jpg)

### 3. fejezet: Furatszerelt alkatrészek szerelés technológiája

- [www.iupui.edu](http://www.iupui.edu)
- [www.amic.ac.uk](http://www.amic.ac.uk)
- [www.manncorp.com](http://www.manncorp.com)
- [www.assembly-sol.com](http://www.assembly-sol.com)
- [www.dataweek.co.za](http://www.dataweek.co.za)
- [www.pcstats.com](http://www.pcstats.com)
- [www.thomasnet.com](http://www.thomasnet.com)

### 4. fejezet: A felületi szereléstechnológia

- Prof. G. R. Kulkarni, Vijay I. Lakum, Ashish N. Jani - All about SMT 2008. október <http://www.electronicsforu.com/EFYLinux/efyhome/cover/july2005/SMT.pdf>
- Joe Vella, Brian Sloth Bentzen – SMT adhesive dispensing – SMT in Focus <http://www.epotek.com/SSCDocs/whitepapers/Tech%20Paper%2050.pdf>; 2008. október Rudolf Strauss: SMT Soldering Handbook, Newnes, 1998 második kiadás
- Barry R. Goukler: Metal Stencil Overview, SMT April, 2001

- Mark Whitmore: The State of Stencil Technology, SMT March, 2004
- Dan Ashley, Steven J. Adamson: Advancements in solder paste dispensing, SMT July, 2008  
<http://www.globalsmt.net/troubleshooter/index.htm>.
- Barry R. Goukler - Metal Stencil Overview - Surface Mount Technology (SMT), 2001. április Laser Cut Stencils - [http://www.tecan.co.uk/UK/\\_03LaserCut.html](http://www.tecan.co.uk/UK/_03LaserCut.html)
- Csizmazia Ferenc - A Vector tökéletesedik - fejlesztések a DEK cserélhető fóliarendszerében - Elektronet, 2004. április Neil MacRaild - Next-Generation Interchangeable Foils - Circuits Assembly, 2004. szeptember
- LF300 Engineer Manual  
[http://www.loctite.com/int\\_henkel/loctite/binarydata/pdf/Solder\\_LF300\\_Manual\\_v1.0.pdf](http://www.loctite.com/int_henkel/loctite/binarydata/pdf/Solder_LF300_Manual_v1.0.pdf) Capilla, Carmen : „Surface mount technology”, 1990 MCGRAW – HILL
- IPC-7526 szabvány IPC-7350 szabvány [www.globalsmt.net](http://www.globalsmt.net) [www.nxp.com](http://www.nxp.com) [www.bobwillis.co.uk](http://www.bobwillis.co.uk)  
[www.airliquide.com](http://www.airliquide.com) [www.smt-wertheim.de](http://www.smt-wertheim.de) [www.smt.pennnet.com](http://www.smt.pennnet.com) [www.empf.org](http://www.empf.org)
- [www.hi-techsources.com](http://www.hi-techsources.com) [www.ami.ac.uk](http://www.ami.ac.uk) [www.smtventasmex.com](http://www.smtventasmex.com) [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)
- George G. Harman: Reliability and Yield Problems of Wire Bonding in Microelectronics (ISHM, 1991, ISBN: 0-930815-25-4)
- [www.westbond.com](http://www.westbond.com)
- [http://smt.pennnet.com/display\\_article/328324/35/ARTCL/none/none/1/STEP-5:-Advanced-Underfill-Technology/](http://smt.pennnet.com/display_article/328324/35/ARTCL/none/none/1/STEP-5:-Advanced-Underfill-Technology/)

## 5. fejezet: Kézi forrasztás:

- IPC-7095 szabvány
- Bob Wettermann, „Solder Paste vs. Flux-only Attachment for BGA Rework” SMT Magazine, January 1, 2005 Matthew R. Milbury, „Rework/Repair”, SMT Magazine, November 1, 1999
- Patrick McCall, „Reworking Area-array Packages”, SMT Magazine, September 1, 2000
- Pro-Forelle Bt., Problémák és megoldásaik ólommentes kézi forrasztás használatakor (2.rész) - ELEKTRONet 2005/3. Hakko Corporation honlapja  
[http://www.hakko.com/english/products/hakko\\_599b.html](http://www.hakko.com/english/products/hakko_599b.html)
- Kester Solders <http://www.kester.com>
- Regős Péter, Fókuszban: a rework - javító munkahelyek forrasztóeszközei, ElektroNet Online
- Coprise LLC. , <http://www.coprise.com>
- ITW Chemtronics, Water Soluble Flux Remover  
[http://www.curiousinventor.com/images/kits/voice\\_of\\_saturn/instructions/soldering\\_ic.jpg](http://www.curiousinventor.com/images/kits/voice_of_saturn/instructions/soldering_ic.jpg)

## 6. fejezet: Anyag adagolási eljárások

### *Coating:*

- Conformal Coating wikipedia - [https://en.wikipedia.org/wiki/Conformal\\_coating](https://en.wikipedia.org/wiki/Conformal_coating)
- Werner Peters: Conformal Coating for Electronics Applications  
Készítette: Tunyoghy Béla

### *Gasketing, Potting:*

- IPC-7095 szabvány
- Bob Wettermann, „Solder Paste vs. Flux-only Attachment for BGA Rework” SMT Magazine, January 1, 2005 Matthew R. Milbury, „Rework/Repair”, SMT Magazine, November 1, 1999
- Patrick McCall, „Reworking Area-array Packages”, SMT Magazine, September 1, 2000
- Pro-Forelle Bt., Problémák és megoldásaik ólommentes kézi forrasztás használatakor (2.rész) - ELEKTRONet 2005/3. Hakko Corporation honlapja  
[http://www.hakko.com/english/products/hakko\\_599b.html](http://www.hakko.com/english/products/hakko_599b.html)

- Kester Solders <http://www.kester.com>

## 7.fejezet: Vég szerelés - ellenőrzések

- Matthew T. Holzmann: Automatic Optical Inspection Of Circuit Assemblies In a High Mix/Low Volume Environment, Christopher Associates, Inc. Santa Ana, California USA
- Ivánczi József: A jelöléstechnika és eszközei, 2006. február  
<http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/transpack/2006ev/02/20060221134731963000000240.html>  
Madhav Moganti, Fikret Ercal, Cihan H. Dagli, Shou Tsunekawa:
- Automatic PCB Inspection Algorithms: A Survey, Computer Vision and Image Understanding, Volume 63, Issue 2, 287 - 313. oldal, 1996. március
- Detlef Beer, Walter Schneider, Regős Péter: Automatic Optical Inspection – Automatikus optikai ellenőrzés, Viscom AG és Microsolder Kft. prezentáció, 2006.
- Alexander Hornberg: Handbook of Machine Vision, Wiley-VCH Verlag GmbH. Co. KGaA Book, Weinheim, 2006. <http://www.elect2eat.eu/elect2eat.eu/index.html>
- [http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0251\\_fixt/index.html](http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0251_fixt/index.html) <http://www.datron.de/IPC-A-610D>

## 8. fejezet: Valós idejű gyártásirányítás

- MESA International: MES Explained: A High Level Vision. White Paper, Number 6., 1997 szeptember., <http://www.mesa.org/whitepapers/>
- Stephanie Neil: MES Meets the Supply Chain Managing. Automation Online, 1997.  
[http://wwwnew.sztaki.hu/proj\\_publ/projects/digital\\_factory/index.en.html](http://wwwnew.sztaki.hu/proj_publ/projects/digital_factory/index.en.html)
- Kis, T., Erdős, G., Márkus, A., Váncza, J.: A Project-Oriented Decision Support System for Production Planning in Make-to-Order Manufacturing. ERCIM News No. 58, July 2004.
- Tóth, T., Erdélyi, F.: Research AND Development (R&D) Requirements for up-to-date Production Planning & Scheduling (PPS) Systems, The Eleventh International Conference on Machine Design and Production., 13 - 15 October 2004, Antalya, Turkey.
- Hornyák, O., Erdélyi, F.: Development of MES Functionalities for Supporting Management Decisions, MicroCAD 2005 International Scientific Conference, Miskolc, 2005, pp. 91-97
- Hornyák, O., Erdélyi, F., Kulcsár Gy.: Valós idejű gyártásirányítás (MES) funkciók fejlődése, modellek és módszerek, Miskolci Egyetem, Informatikai Intézet, Alkalmazott Informatikai Tanszék, Termelésinformatikai Kutatócsoport

### 8.6. fejezet: Six sigma

- Kai Yang, Basem El-Haik: Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development, McGraw-Hill 2003.
- Six Sigma Best Practices: A Guide To Business Process Excellence For Diverse Industries by Dhirendra Kumar J. Ross Publishing © 2006 Citation
- Manufacturing Engineering Handbook by Hwaiyu Geng (ed) McGraw-Hill Engineering © 2004 Citation
- Lakat Károly: Hatékonyság növelése a minőségügyi tevékenység főmozgatója; ISO 9000 Fórum, 2001. szeptember 13.
- George Eckes: Six Sigma for everyone; John Wiley & Sons
- The Lean Six Sigma Pocket Toolbook : Michael L George; David Rowlands; Mark Price; John Maxey, 2005

## 9. fejezet: A jövő ipara – Ipar 4.0

- Ipari forradalmak – Ipar 4.0 <https://ipar4.hu/hu/page/ipari-forradalmak-ipar-4-0>
- Fogalomtár <https://ipar4.hu/hu/page/tudasbazis-ipar-4-0-fogalomtar>
- Ipar 4.0, szakértői tanulmány - [http://bkik.hu/iparitagozat/ipari-tagozat/osztalyok/bkik-vii-hirkozles-informatika-osztaly/vii-osztaly-hirei/ipar-4-0/Ipar 4.0](http://bkik.hu/iparitagozat/ipari-tagozat/osztalyok/bkik-vii-hirkozles-informatika-osztaly/vii-osztaly-hirei/ipar-4-0/Ipar%204.0)
- [https://hu.wikipedia.org/wiki/Vállalatirányítási\\_információs\\_rendszerek](https://hu.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1llalatir%C3%A1ny%C3%ADt%C3%A1si_inform%C3%A1ci%C3%B3s_rendszerek)
- [www.tankonyvtar.hu](http://www.tankonyvtar.hu) > Könyvek > Egyéb / Készletfigyelő rendszerek
- [https://hu.wikipedia.org/wiki /Ellátásilánc-menedzsment /](https://hu.wikipedia.org/wiki/Ell%C3%A1t%C3%A1sil%C3%A1nc-menedzsment)
- [www.gepszakerto.hu/elm-alapok1.htm](http://www.gepszakerto.hu/elm-alapok1.htm) / Karbantartási módszerek /
- <https://en.wikipedia.org/wiki/MES> / Gyártásvizualizáció /
- <https://hu.wikipedia.org/wiki/Machine-to-Machine>
- [www.cnc.hu/.../miben-ternek-el-a-kollaborativ-robotok-a-hagyomanyos-ipari-robotok](http://www.cnc.hu/.../miben-ternek-el-a-kollaborativ-robotok-a-hagyomanyos-ipari-robotok)
- [https://w3-connections.ibm.com/wikis/home?lang=en-us#!/wiki/W5c4f33a2907d\\_4039\\_b729\\_2afd91ebb393/page/Digital%20Transformation%20in%20Supply%20Chain](https://w3-connections.ibm.com/wikis/home?lang=en-us#!/wiki/W5c4f33a2907d_4039_b729_2afd91ebb393/page/Digital%20Transformation%20in%20Supply%20Chain)
- A SAVVY GUIDE TO THE DIGITAL SUPPLY CHAIN
- <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/AI-Artificial-Intelligence>
- <https://newtechnology.hu/a-mesterseges-intelligencia-a-gyartasban/>
- [https://hu.wikipedia.org/wiki/Felh%C5%91alap%C3%BA\\_sz%C3%A1m%C3%ADt%C3%A1stechnika](https://hu.wikipedia.org/wiki/Felh%C5%91alap%C3%BA_sz%C3%A1m%C3%ADt%C3%A1stechnika)
- <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/cybersecurity>
- [https://www.ibm.com/blockchain/what-is-blockchain?cm\\_mmc=OSocial\\_Twitter-\\_-Blockchain+and+Watson+Financial+Services\\_Blockchain-\\_-WW\\_WW-\\_-11192018+What+Is+Blockchain+Twitter&cm\\_mmca1=000020YK&cm\\_mmca2=10005803](https://www.ibm.com/blockchain/what-is-blockchain?cm_mmc=OSocial_Twitter-_-Blockchain+and+Watson+Financial+Services_Blockchain-_-WW_WW-_-11192018+What+Is+Blockchain+Twitter&cm_mmca1=000020YK&cm_mmca2=10005803)