



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikai Technológia Tanszék

ELEKTRONIKAI GYÁRTÁS ÉS MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS

Segédlet

Krammer Olivér

BUDAPEST

2020

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. TGy3 - Szereléstechológia számítási példái	3
1) Gyártásunkhoz 150 μm vastag stencilfóliát alkalmazunk (SL: 20%). A felvitt paszta magasságának szórása 6 μm . Adja meg az 1.000.000 nyomtatásra vetített hibarátát. Hogyan alakul a hibarata, ha az átlagos pasztamagasság 155 μm ?.....	3
2) Egy alkatrész-beültetőgép szórása, $\sigma=31,25 \mu\text{m}$. Adja meg az 1.000.000 beültetésre vetített hibarátát 0201, 0402, 0603 méretkódú alkatrésze!	5
3) Elvégeztünk egy alkatrész-beültetőgép pontosságára vonatkozó kísérletet. A beültetett alkatrészek pozíciójának eltérésére vonatkozóan a következő statisztikai eredményt kaptuk: az átlagos eltérés: 30 μm , az eltérés szórása: 15 μm . Számolja ki a C_{mk} gépképességi indexet 0603, 0402, 0201 méretkódú alkatrészek esetére!.....	6
4) Egy 0805-ös méretkódú alkatrész magassága 0,5 mm, alján a fémezés hossza 400 μm , pozícióhibája: 400 μm . Számítsa ki egyszerűsített modell alapján a helyrehúzó erő nagyságát! (θ (SAC305, galván ón bevonat): 22°, γ_{LG} (SAC305): 550 mN/m).....	7
5) Egy felületszerelt alumínium elektrolit kondenzátor kivezetése 0,5x1,5 mm, tömege 10 g. Ha kétoldalas áramkör alsó oldalára tervezzük az alkatrészt, kell-e ragasztóval rögzíteni forrasztás előtt? $\theta = 22^\circ$, γ_{LG} : 550 mN/m).....	7
6) Egy 64 kivezetős QFP tokozású alkatrész tömege 4 g. A kivezetésén a nedvesített rész élhosszúsága 300x700 μm . Ha kétoldalas áramkör alsó oldalára tervezzük az alkatrészt, kell-e ragasztóval rögzíteni forrasztás előtt? $\theta = 22^\circ$, γ_{LG} : 550 mN/m).....	9
7) Számolja ki a Q_η tényezőt, ha az olvadáspont felett töltött idő 60 másodperc, a forrasz olvadáspontja 220 °C, a csúcshőmérséklet 246 °C, a fűtési gradiens 2, míg a hűtési gradiens 4 °C/s!	10

1. Bevezetés

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

2. TGy3 - Szereléstechológia számítási példái

1) Gyártásunkhoz 150 µm vastag stencilfóliát alkalmazunk (SL: 20%). A felvitt paszta magasságának szórása 6 µm. Adja meg az 1.000.000 nyomtatásra vetített hibaráta. Hogyan alakul a hibaráta, ha az átlagos pasztamagasság 155 µm?

Intervallum szélesség	P - valószínűség	PPM
±σ	0,68268	317320
±2σ	0,9545	45500
±3σ	0,9973	2700
±4σ	0,999936	63
±5σ	0,9999994	0,6
±6σ	0,999999998	0,002

Ha a ZH-ban ilyen kérdés van, akkor a táblázat meg van adva, nem kell megtanulni.

A kérdés első fele egy olyan folyamatról szól, melynél nincs középponti eltolódása a gauss görbének (a gyártási folyamatok paramétereit normális eloszlásúnak feltételezzük). Tehát a „sima”, nem korrigált képességi index képletéből indulhatunk ki.

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

USL és *LSL* a felső és alsó elfogadási határ, Upper Specification Limit és Lower Specification limit (az előadáson hívtuk FTH-nak és ATH-nak – felső- és alsó tűréshatár); a kérdésben *SL* pedig a relatív elfogadási határ, és a célérték, *T* a stencilfólia vastagsága, 150 µm. Tehát $USL = T + SL = 180 \mu\text{m}$, és $LSL = T - SL = 120 \mu\text{m}$.

A k értékének gép esetén 4-et, folyamat esetén 3-at kell választani, de előadáson említettem, hogy az iparban mindig 3-mal számolnak; a ZH-ban elfogadom 3-mal és 4-gyel is; itt számoljunk most 3-mal. A σ pedig a folyamat szórása, 6 μm . A képességi mutató tehát:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{2k\sigma} = \frac{180 - 120}{2 \cdot 3 \cdot 6} = 1,66$$

A „sima” képességi mutató, és szimmetrikus elfogadási határ esetén van lehetőség arra, hogy egyszerűsítsünk, ha a relatív specifikációs határból ($\pm 20\% = \pm 30 \mu\text{m}$, mert $T = 150 \mu\text{m}$) indulunk ki:

$$Cp = \frac{2 \cdot |SL|}{2k\sigma} = \frac{|SL|}{k\sigma} = \frac{30}{3 \cdot 6} = 1,66$$

Ha a példában az szerepelt volna, hogy $T = 150 \mu\text{m}$, $USL = 180 \mu\text{m}$, $LSL = 120 \mu\text{m}$, akkor $SL = USL - T$ (ill. $SL = LSL - T$); és ugyanúgy tudunk egyszerűsíteni.

A gépképességi index meghatározása után a következő feladat az intervallum-szélesség meghatározása. Az intervallum szélesség jelölése a táblázatban $\pm\sigma$ (ne keverjük össze a folyamat szórásával). A gépképességi index lényege, hogy egy $\pm 3\sigma$ -ás folyamathoz hasonlítjuk a sajátunkat, ezért az intervallum-szélesség meghatározása:

$$\text{intervallum-szélesség} = Cp \cdot 3 = 1,66 \cdot 3 = \pm 5\sigma$$

Ezután a várható hibaráta megadásához ki kell keresni a táblázat megfelelő sorát -> várható hibaráta = **0,6 ppm**.

A példa második felében már van középponti eltolódása a folyamatnak; az átlagos mért pasztamagasság, $X = 155 \mu\text{m}$ (+5 μm a célértékhez képest).

A korrigált folyamatképességi index:

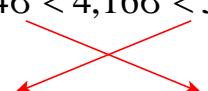
$$Cpk = \min\left(\frac{USL - X}{k\sigma}; \frac{X - LSL}{k\sigma}\right) = \min\left(\frac{180 - 155}{3 \cdot 6}; \frac{155 - 120}{3 \cdot 6}\right) = \min(1,39; 1,94) = 1,39$$

Az előadáson elhangzottak megfelelően a +eltolódásnál elég az USL -es részt kiszámolni, negatív eltolódásnál az LSL -es részt. **Fontos:** $Cpk \leq Cp$

Ezután az intervallum szélesség ugyanúgy határozható meg, mint az előző esetben:

$$\text{intervallumszélesség} = Cpk \cdot 3 = 1,39 \cdot 3 = \pm 4,16\sigma$$

Amennyiben az intervallum szélesség nem természetes szám, mint a fenti táblázatban, akkor a pontos hibarádát kiszámolhatjuk az előadáson ismertetett összefüggések felhasználásával (beültetős tétel – 10 dia). A valóságban (és a ZH-n is elég) inkább egy tartományt adnak meg az alábbi alapján:

$$4\sigma < 4,16\sigma < 5\sigma$$


$$0,6 < ppm < 63$$

2) Egy alkatrész-beültetőgép szórása, $\sigma=31,25 \mu\text{m}$. Adja meg az 1.000.000 beültetésre vetített hibarádát 0201, 0402, 0603 méretkódú alkatrészeire!

Első feladat a specifikációs határok meghatározása. Felületszerelt ellenállások esetére ez klasszikusan az alkatrész rövidebbik oldalának negyede:

$$0603: 1,5 \times 0,75 \text{ mm} \rightarrow SL = \pm \frac{750}{4} = \pm 187,5 \mu\text{m}$$

$$0402: 1,0 \times 0,50 \text{ mm} \rightarrow SL = \pm \frac{500}{4} = \pm 125 \mu\text{m}$$

$$0201: 0,6 \times 0,30 \text{ mm} \rightarrow SL = \pm \frac{300}{4} = \pm 75 \mu\text{m}$$

Ezután a képességi indexek:

$$0603: Cp = \frac{|SL|}{k\sigma} = \frac{187,5}{3 \cdot 31,25} = 2$$

$$0402: Cp = \frac{|SL|}{k\sigma} = \frac{125}{3 \cdot 31,25} = 1,33$$

$$0201: Cp = \frac{|SL|}{k\sigma} = \frac{75}{3 \cdot 31,25} = 0,8$$

Az intervallumszélességek ($Cp \cdot 3$): 0603: $\pm 6\sigma$; 0402: $\pm 4\sigma$; 0201: $\pm 2,4\sigma$. A hibarádák ez alapján: 0603: **0,002 ppm**; 0402: **63 ppm**. Figyeljük meg, hogy milyen drasztikusan csökken a gépképesség az alkatrészméretetek csökkenésével. Ezért

kritikus, a mai legkisebb, 0201mm (200 x 100 μm) méretkódú ellenállások esetére a gépképesség. A jelenlegi példánál, a 0201-es ellenállásnál a gépképesség kisebb, mint 1; nem teljesíti a $\pm 3\sigma$ követelményt, így a hibaráta sincs értelme kiszámolni.

3) Elvégeztünk egy alkatrész-beültetőgép pontosságára vonatkozó kísérletet. A beültetett alkatrészek pozíciójának eltérésére vonatkozóan a következő statisztikai eredményt kaptuk: az átlagos eltérés: 30 μm , az eltérés szórása: 15 μm . Számolja ki a C_{pk} gépképességi indexet 0603, 0402, 0201 méretkódú alkatrészek esetére!

A specifikációs határok az előző példáéval egyezők:

$$0603: 1,5 \times 0,75 \text{ mm} \rightarrow SL = \pm \frac{750}{4} = \pm 187,5 \mu\text{m}$$

$$0402: 1,0 \times 0,50 \text{ mm} \rightarrow SL = \pm \frac{500}{4} = \pm 125 \mu\text{m}$$

$$0201: 0,6 \times 0,30 \text{ mm} \rightarrow SL = \pm \frac{300}{4} = \pm 75 \mu\text{m}$$

A gépképességi indexek a következők (Itt is pozitív az eltérés a célértéktől, ezért elég az USL -s részt kiszámítani):

$$0603: C_{pk} = \frac{USL - X}{k\sigma} = \frac{187,5 - 30}{3 \cdot 15} = 3,5$$

$$0402: C_{pk} = \frac{USL - X}{k\sigma} = \frac{125 - 30}{3 \cdot 15} = 2,11$$

$$0201: C_{pk} = \frac{USL - X}{k\sigma} = \frac{75 - 30}{3 \cdot 15} = 1$$

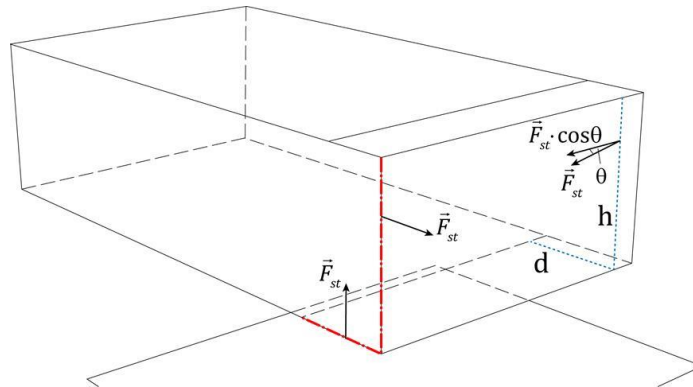
A hibaráta nem kérdezi a kérdés, de azok a következők lennének: 0603: **ppm < 0,002**; 0402: **ppm < 0,002**; 0201: **ppm = 2700**.

Ha az eltérés a célértéktől negatív lenne, akkor az LSL -s rész számításnál figyelni kell az előjelekre. Tehát pl. ha az átlagos eltérés -30 μm , akkor a C_{pk} 0603-ra:

$$0603: C_{pk} = \frac{X - LSL}{k\sigma} = \frac{-30 - (-187,5)}{3 \cdot 15} = 3,5$$

4) Egy 0805-ös méretkódú alkatrész magassága 0,5 mm, alján a fémezés hossza 400 μm , pozícióhibája: 400 μm . Számítsa ki egyszerűsített modell alapján a helyrehúzó erő nagyságát! (θ (SAC305, galván ón bevonat): 22° , γ_{LG} (SAC305): 550 mN/m)

Az előadásanyagban (teams) mutatott kép ehhez a feladathoz:



A felületi feszültségből származó erő a kék pontvonal mentén lép fel.

Az alkatrész magassága, $h = 0,5 \text{ mm}$; az alsó oldali fémezés hossza, $d = 0,4 \text{ mm}$. A helyrehúzás irányába a felületi feszültségből származó erőnek a $\cos\theta$ -ás komponense hat.

$$F_{ST} = \gamma_{LG} \cdot (h + d) \cdot \cos\theta = 550 \cdot 10^{-3} (0,5 \cdot 10^{-3} + 400 \cdot 10^{-6}) \cos 22^\circ = 459 \mu\text{N}$$

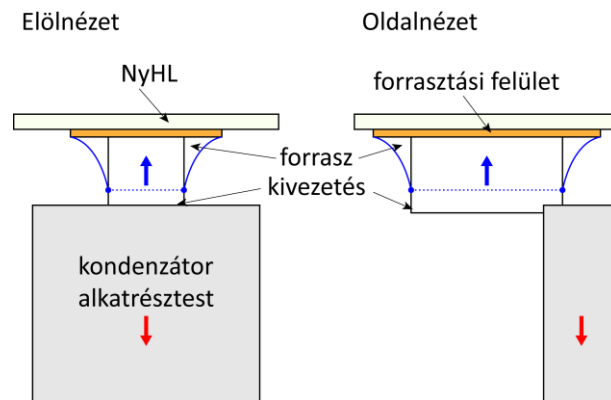
$$F_r = F_{ST} \cdot 2 = 918 \mu\text{N} \approx 1 \text{ mN}$$

5) Egy felületszerelt alumínium elektrolit kondenzátor kivezetése 0,5x1,5 mm, tömege 10 g. Ha kétoldalas áramkör alsó oldalára tervezzük az alkatrészt, kell-e ragasztóval rögzíteni forrasztás előtt? $\theta = 22^\circ$, γ_{LG} : 550 mN/m)



A kérdést úgy kell átfordítani, hogyha a kondenzátor az első szerelési oldalon van, a második oldal szerelése közben fejfelé áll, és az a kérdés, hogy

forrasztás közben megtartja-e az olvadt állapotú forrasztási felületi feszültségéből származó tartóerő. Ennek megválaszolásához számítsuk ki a tartóerőt. A felületi feszültségből származó erő az alábbi ábrán jelzett kék pontvonal mentén lép fel (az ábra nem méretarányos; az oldalnézet csak a felét illusztrálja a kondenzátornak). Tehát a hossz, ami mentén a forrasztás tartja az alkatrészt egyenlő az alkatrész-kivezető kerületével.



Így a felületi feszültségből származó erő:

$$F_{ST} = \gamma_{LG} \cdot k_{alk_kiv} \cdot \cos \theta = 550 \cdot 10^{-3} \left[2(1,5 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3}) \right] \cos 22^\circ = 2 \text{ mN}$$

A tartóerő itt is mindkét kivezetőn fellép:

$$F_T = F_{ST} \cdot 2 = 4 \text{ mN}$$

Az alkatrész súlya pedig:

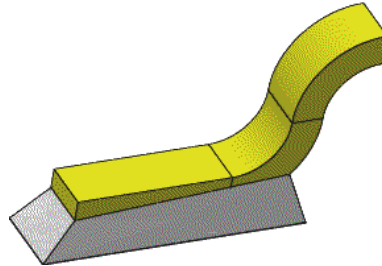
$$F_g = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 98,1 \text{ mN}$$

Tehát arra a kérdésre, hogy az alkatrészt kell-e ragasztóval rögzíteni forrasztás előtt, a válasz, az, hogy NEM kell ragasztani, át kell tervezni a túloldalra! ☺

Ilyen esetekben tényleg nem ragasztanak, mert az plusz folyamat, amit pluszban kell irányítani, ellenőrizni stb.

Így a ZH-n az ilyen kérdésre, mindig „nem” a válasz ☺; de indokolni kell természetesen számításokkal.

6) Egy 64 kivezetős QFP tokozású alkatrész tömege 4 g. A kivezetésén a nedvesített rész élhosszúsága $300 \times 700 \mu\text{m}$. Ha kétoldalas áramkör alsó oldalára tervezzük az alkatrészt, kell-e ragasztóval rögzíteni forrasztás előtt? $\theta = 22^\circ$, $\gamma_{LG}: 550 \text{ mN/m}$)



A megoldás menete azonos az előző példával. A felületi feszültségből származó tartóerő az alkatrész-kivezetők kerülete mentén lép fel:

$$F_{ST} = \gamma_{LG} \cdot k_{alk_kiv} \cdot \cos \theta = 550 \cdot 10^{-3} \left[2(0,3 \cdot 10^{-3} + 0,7 \cdot 10^{-3}) \right] \cos 22^\circ = 1 \text{ mN}$$

Figyeljünk arra, hogy az előző példával ellentétben itt 64 kivezetés van:

$$F_T = F_{ST} \cdot 64 = 64 \text{ mN}$$

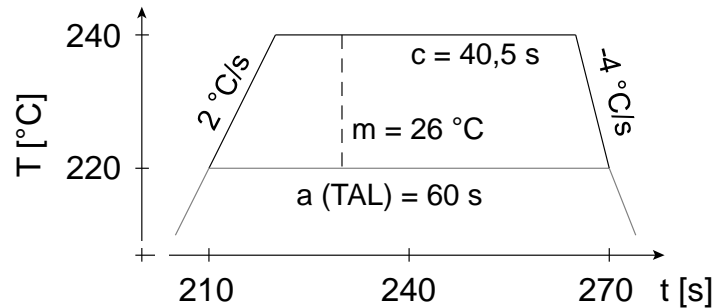
Az alkatrész súlya pedig:

$$F_g = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 39,2 \text{ mN}$$

Tehát az alkatrész nem is kell ragasztani, de áttervezni sem kell, a forrasz megtartja a forrasztás közben. Tulajdonképpen probléma, mindig a nehéz, illetve kevés kivezetővel rendelkező alkatrészeknél van. A könnyű alkatrészeket (SMD-R) és a sokkivezetős alkatrészeket (QFP, BGA) a forrasz mindig megtartja.

Mindkét példára igaz, hogy a tartóerő mértéke ezzel a modellel csak becült (pontosabb becslés profilszámítással érhető el), és annak eldöntéséhez, hogy az alkatrészt át kell-e tervezni a másik oldalra vagy sem, kb. nagyságrendi (de legalább kb. kétszeres) különbség kell a tartóerő és az alkatrész súlya között. Kisebb különbség esetén (pl. tartóerő 30 mN és az alkatrész súlya 35 mN) már kísérletezni szoktak.

7) Számolja ki a Q_{η} tényezőt, ha az olvadáspont felett töltött idő 60 másodperc, a forrasz olvadáspontja $220\text{ }^{\circ}\text{C}$, a csúcshőmérséklet $246\text{ }^{\circ}\text{C}$, a fűtési gradiens 2, míg a hűtési gradiens $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$!



Trapézközelítést alkalmazhatunk a fűtési tényező becsléséhez. Az a alaplapja megegyezik az olvadáspont fölött töltött idővel (TAL – time above liquidus), 60 s. A c alaplap hossza pedig úgy számítható, hogy kiszámítjuk azt, hogy mennyi idő alatt melegítünk $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról $246\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra ($\frac{26\text{ }^{\circ}\text{C}}{2\text{ }^{\circ}\text{C/s}} = 13\text{ s}$) és mennyi idő alatt hűtjük vissza

($\frac{26\text{ }^{\circ}\text{C}}{4\text{ }^{\circ}\text{C/s}} = 6,5\text{ s}$). Ezt a két időt kivonva az a alaplap hosszából $\rightarrow c = 40,5\text{ s}$.

Ezután a fűtési tényező:

$$Q_{\eta} = \frac{a+c}{2} \cdot m = \frac{60+40,5}{2} \cdot 26 = 1306,5\text{ K} \cdot \text{s} \approx 1310\text{ K} \cdot \text{s}$$