



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Elektronikai Technológia Tanszék

Szalmási Dániel

**GŐZFÁZISÚ FORRASZTÁS
ÁRNYÉKOLÁSI JELENSÉGÉNEK
VIZSGÁLATA NAGY HŐKAPACITÁSSAL**

Investigation of shadowing effect during vapour phase soldering
with large thermal capacities

KONZULENS

Dr. Géczy Attila

BUDAPEST, 2018

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	3
Abstract	4
1 Az újraömlesztés forrasztás	5
2 A gőzfázisú forrasztás	9
2.1 Történelmi áttekintés	10
2.2 Általános működési elv.....	10
2.2.1 Kemence felépítése	10
2.2.2 Kemence működése	11
2.3 A Galden folyadék	12
2.4 A VPS technológia változatai	13
3 Fizikai ismeretek	15
3.1 A Newton-féle hőátadási egyenlet.....	15
3.2 Gőz kondenzációja.....	16
3.3 Hőkapacitás számítása	18
4 Árnyékolási jelenség	19
5 Nyírási szilárdság vizsgálat	21
6 Az első kísérletek – tervek és eredmények	22
6.1 Korai kísérletek.....	22
6.2 Korai kísérletek eredményei	23
7 Módosított kísérletek – tervek és eredmények	29
7.1 Új kísérleti modulok tervezése	29
7.2 Felhasznált alkatrészek összehasonlítása.....	30
8 Eredmények	33
8.1 Kontroll panelek	33
8.2 Kísérleti panelek	33
8.3 Nyírási szilárdság vizsgálat.....	35
9 Összefoglalás	42
Irodalomjegyzék	44

Összefoglaló

A ma használt elektronikus eszközök gyártásának fontos lépése a felületszerelési technológia, azon belül is talán a legkritikusabb a forrasztás. Munkám során egy viszonylag újnak számító, de egyre jobban elterjedő forrasztási technológiával, a gőzfázisú forrasztással és annak úgynevezett „árnyékolási” jelenségével foglalkozom.

A különböző forrasztási módszerek eltérő hibajelenségeket produkálhatnak a technológia sajátosságainak következtében, melyek a késztermék minőségét és megbízhatóságát is károsíthatják. Ezért munkám során a gőz elvonásának jelenségével kezdtem el foglalkozni, amit egy nagy hőkapacitású alkatrész felhasználásával érek el. Az „árnyékolás” súlyos következményekkel járhat, mivel a nagy hőkapacitású elem közelében lévő kis alkatrészek - mint egy ellenállás - forrasztási oldalai közül az egyik felén a paszta gyorsabban ömlik meg, mint a másikon, így sírkoeffektus alakulhat ki. Munkám során ezt a jelenséget vizsgálom önállóan megtervezett tesztpanelek segítségével.

A vizsgálatokat megelőzően részletesen megismerkedtem a gőzfázisú forrasztás technológiájával. Elsajátítottam a háttérben lefolyó fizikai folyamatokat a kutatás alatt. Megismertem a különböző gyártók saját fejlesztésű eljárásait. A tervezés megkezdése előtt megismerkedtem a munkám helyszínénél szolgáló ETT laboratórium berendezéseivel és próbaméréseket végeztem, hogy részletesebb képet kapjak, arról milyen tervezési megfontolásokat kell alkalmazni.

Célom, hogy munkám során igazoljam az árnyékolási jelenség létezését és annak veszélyeit. Illetve egy általános módszert is szeretnék meghatározni ennek a jelenségnek az elkerülésére.

A dolgozat ismerteti a korábban említett általános ismeretanyagot a technológiáról, kitér a fizikai folyamatok működésére és alapos tájékoztatást ad az általam kidolgozott, menet közben két körben finomított kísérlettervről. Ezek után bemutatásra kerülnek a mérési eredmények és a hozzájuk tartozó statisztikák valamint annak kiértékelései. Majd a megszerzett tudás alapján további kísérleti lehetőségeket tanácsolok munkámban az árnyékolási jelenség vizsgálatára.

A tanulmány végén egy összefoglalás található az általam végzett munka eredményéről és annak jelentőségéről a felületszerelési technológiában.

Abstract

Surface mounted technology is an important method in the production of today's electronic devices. Soldering is maybe the most critical process within the technology steps. It has it is advantages and drawbacks. In this work, I experiment with a relatively new, but advancing vapour phase soldering and it is shadowing effect.

The various soldering methods may produce different errors, which can affect the quality and reliability of the product. I began to examine the vapour drawing phenomena, which I achieve with components with great heat capacity. This "shadowing" may have serious consequences. The small parts, like a resistance, near a device with great heat capacity may have the solder its sides melt in different time, thus producing tombstone effect. During my work, I examine these phenomena with a self-designed test panel.

Before my examinations, I studied vapour phase soldering technology. I learned about the physical background processes and the solutions of different manufacturers. Before designing I made measurements to get a picture about what problems should I take in consideration.

My goal is to verify the existence of the shadowing effect, it's dangers and to think out a general solution for avoiding it.

My work describes the required knowledge about the technology, the physical processes and gives a detailed description about my experiment plan. After that it presents the results of my measurements and statistics and their evaluation. Based on the acquired knowledge I recommend some possibilities for further investigations.

At the end of my work, there is a summary of the results of my work and their importance in the surface mounted technology.

1 Az újraömlesztés forrasztás

A felületszerelési technológia (Surface Mounting Technology – SMT) elengedhetetlenül fontos megközelítése a mindennapi elektronikának. A ma használt elektronikus eszközök előállítása során jelentős százalékban ezt használják ipari szinten. A felületszerelési technológia alapvetően 3 fontos lépésből tevődik össze, amiket kiegészít a gyártás minőség ellenőrző lépésekkel. [1][2]

- **Forraszpasztá felvitele**
- Optikai ellenőrzés a forraszpasztá felviteléről
- **Alkatrészek beültetése**
- Optikai ellenőrzés az alkatrészek elhelyezkedéséről
- **Forrasztás-hőközlés**
- Optikai ellenőrzés a forrasztott alkatrészekon

Ezt a folyamatot a ma használt gyártásba remekül be lehet illeszteni, Az In-line gépek használatával könnyen lehet gyorsítani a gyártási folyamatokat. Az optikai ellenőrzés segítségével ki lehet szűrni az esetleges hibákat minden technológiai lépést követően. Így a gyártás alatt fellépő hibákat könnyen lehet javítani, illetve a javíthatatlan elemeket elszeparálni.

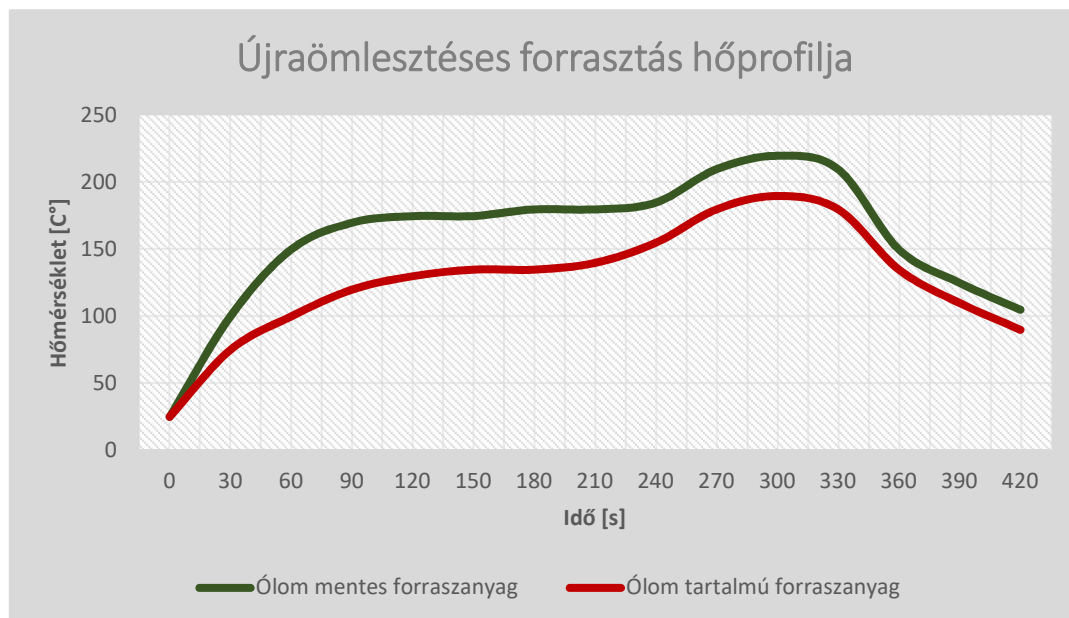
Az felület szerelési technológia nagy előnye, hogy lehetővé tesz kétoldalas szereléstechnikát, így nem kell megkülönböztetnünk egymástól a forrasztási- és alkatrészsoldalt, mint a furatszerelt alkatrészek esetén. Bár a technika használata alatt gyakran előfordul a vegyes szerelés, mivel a furatszerelés továbbra is nagyobb mechanikai szilárdságot eredményez, ami egyes alkatrészeknél (pl. csatlakozóknál) elengedhetetlenül szükséges.

A fentebb említett lépések közül az első a forraszpasztá felvitele, ahol kétféle eljárás terjedt el az aktuális gyártásban. Kevés alkatrész esetén használható az úgynevezett cseppadagolás; ha több alkatrésztől beszélünk, akkor pedig gyorsabb de adott esetben akár költségesebb mód a stencilnyomtatás. A stencilnyomtatáshoz egy apertúrákkal ellátott lemezre van szükség. Ennek előállítása többféle módon igényektől és gyártótól függően változhat, de a legelterjedtebb a lézeres vágás. A kézi vagy automata

nyomtató használatával az apertúrákon keresztül forraszpasztát juttatunk a kontaktusfelületre (pad). A nyomtatás hátránya, hogy a kész stencil átalakítása már nem lehetséges, viszont a tömeggyártásnál egyetlen lehúzással akár több ezer forrasztási felületet is fel lehet pasztázni.

Ezek után következik az alkatrészek beültetése a „felpasztázott” hordozóra. Ez a feladat végezhető kézzel, de a szereléstechológia automata beültetőgépeket használ a legtöbb esetben. Az automata beültetőgép nagy darabszámú eszközöknél meglehetősen gyorsítja a folyamatot, mivel az előre felprogramozott ültető berendezés nagy pontossággal, ismételhető módon készíti el a munkát. Két fő típusa terjedt el, a sima Pick-and-Place, ami egyszerre csak egy alkatrészt felvesz, majd helyez el a hordozón, illetve a Collect-and-Place elnevezést kapó revolver fejjel ellátott változat, ami először összegyűjt több alkatrészt, majd ezután ülteti be azokat, ezzel spórol az X és Y irányú mozgáson az alkatrésztárolókig.

Az utolsó nagyobb és egyben legkritikusabb lépés a forrasztás. Az újraömllesztéses forrasztás (re-flow) során a korábban felvitt pasztát megömllesztjük. Ezt a melegítési és hűtési folyamatot idő és hőmérséklet függésében van ábrázolva úgynevezett hőprofilon. A hőprofil megfelelő beállítása fontos a jó minőségű forrasztás eléréséhez. Egy jellegzetes hőprofil látható a lenti 1. ábrán:



1. ábra: Az újraömllesztéses forrasztás hőprofilja ólom és ólommentes forraszpasztánál.

A tökéletes hőprofilnak négy fő része van: előmelegítés, hőntartás, megömllesztés és hűtés.

Az *előmelegítés* fázisában az oldószer elpárolog a forrasztástáblól, mialatt a panel melegszik. A melegedés nagyjából 2-4 °C/sec gyorsasággal történik körülbelül 100-150 °C-ig.

A *hőntartás* folyamata alatt a hőmérséklet csak lassan emelkedik vagy stagnál, míg a hordozó és az alkatrészek is eléri a kívánt hőfokot. Ebben a szakaszban aktiválódik a folyasztószer is, ami tisztítja a forrasztási felület felszínét. Ez a szakasz végére eléri a 180-200 °C is.

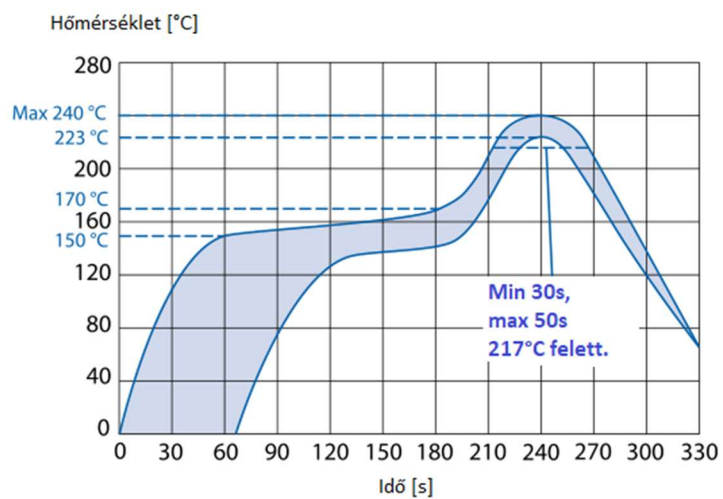
A *megömlesztés* folyamata alatt a hőmérséklet eléri a megömlési hőmérsékletet. Ehhez képest, mint egy +30 °C növeljük még. A forrasztási felületet nedvesítése végbemegy. A hőmérsékletet 30-50 másodperc ideig ezen a hőmérsékleten marad, hogy mindenhol tökéletesen végbe menjen. Itt a melegedés vissza lehet szabályozva akár 1-2 °C/sec változásra is.

A *hűtés* folyamata az utolsó fázis, ahol a forrasztott kötés már a hordozó és az alkatrészekkel együtt hűl. A folyamat egy gyorsabb hűtési folyamat akár 3-5 °C/sec.

Ezen felül jól látható az ábrán is, hogy van egy magasabb és egy alacsonyabb hőprofil is. Az ólom tartalmú forrasztanyagoknak (~180-190 °C) az olvadáspontja alacsonyabb, mint a ma használt ólommentes forrasztanyagoké (~220 °C).[3]

Európai Unió előírások szerint, mivel az ólom mérgező anyag 2006. július 1.-től be kellett szüntetni a használatát. Csak speciális esetekben lehet kivételt tenni. (Pl. orvosi elektronika, űrtechnika.)

A legtöbb alkatrészhez meghatároz a gyártó egy ideális hőprofil. Erre egy példa, az általam használt kondenzátorhoz tartozó javaslat a 2. ábrán látható:



2. ábra: Ideális hőprofil a KEMET kondenzátorok forrasztásához [4]

2 A gőzfázisú forrasztás

A gőzfázisú forrasztás (VPS) folyamata egy már feljebb említett újraömllesztéses technológián alapul, ahol a hordozóra elhelyezett alkatrészeket forrasztjuk be. A taneszéken, ahol a munkát végeztem, két készülék van: egy saját fejlesztésű és egy Asscon Quicky-450 batch állomás. Ez látható a lenti 3. ábrán, mely után összefoglalom a főbb tulajdonságokat.



3. ábra: Asscon Quicky – 450

Az Asscon Quicky 450 főbb előnyei a gyártást tekintve a következő pontokban foglalható össze:

- N^2 felhasználása nélkül teljesen közömbös, oxidációmentes forrasztási környezet,
- reprodukálható folyamat,
- túlhevítés nélküli forrasztás,
- homogén hőátadás,
- a médium (közeg) gőzének alacsony felületi feszültsége lehetővé teszi a legszűkebb hézagokba való bejutást. Lehetővé téve a folyamatos, ismételhető forrasztási minőséget a problémás alkatrészeknél is, mint BGA,
- a folyamat fizikai tulajdonságainak köszönhetően akár különböző szerelvényeken is ismételhető forrasztási profil.

2.1 Történelmi áttekintés

A gőzfázisú forrasztás a 70-es években jelent meg a Western Electronic munkatársainak köszönhetően, köztük Pfahl, aki kidolgozta az eljárás alapjait. Ezzel forradalmasítva a technológiát. A technológia kezdetleges állapotának köszönhetően viszont csak a 80-as években vezették be az iparba. Ezzel új irányba terelve az SMD szerelés megoldásait [5].

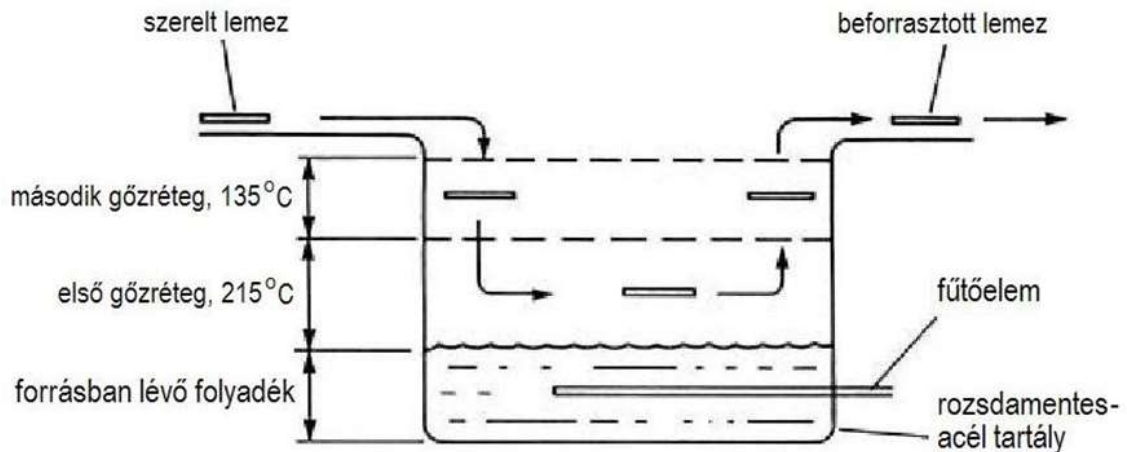
Kezdetben nem láttak a gőzfázisú forrasztásban sok lehetőséget, mivel ezeknek a kemencéknek a fenntartása nagyon körülményes volt. A korai időszakban használt folyadék mérgező és káros alkotókat is tartalmazott (klorofluorkarbon – CFC). A gőz így káros volt a környezetre, többek között az ózonra, ezért betiltották használatát. Csak a későbbi időkben a Galden nevezetű folyadék használatával vált elterjedté ismét a folyamat.

2.2 Általános működési elv

2.2.1 Kemence felépítése

A gőzfázisú forrasztás folyamata összetettebb, mint a hasonló újraömllesztéses technológiák. A forrasztási teret 3 különböző részre lehet osztani:

- Forrásban lévő folyadék (Galden),
- Elsődleges gőztér (Galden-gőz),
- Másodlagos gőztér (nincs minden kemencében).



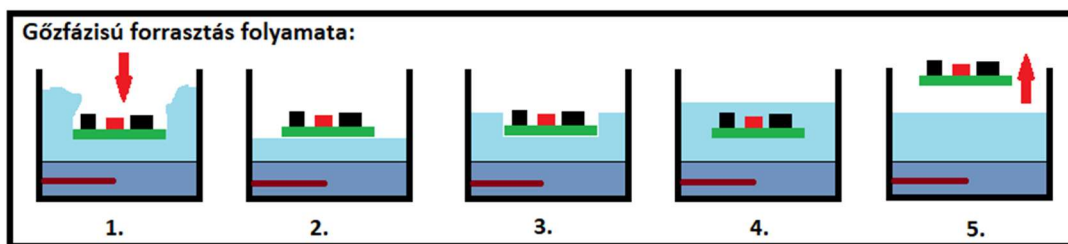
4. ábra: Gőzfázisú forrasztókemence felépítése

A kemence alsórészében egy egyszerű fűtőszál vagy fűtőlap van elhelyezve (4. ábra), aminek segítségével a Galdent tudjuk melegíteni. A megfelelő hőfok eléréseivel a folyadék elkezd gőzt fejleszteni, vagyis halmazállapotot vált. Megjelenik a folyadék feletti térben a gőz. Mivel a Galden gőze nehezebb, mint a levegő ezért nem fog elillanni, de a túlfejlődő gőzt egy felső lecsapató hűtőkörrel meg lehet rekeszteni.

Annak érdekében, hogy a panelt egyenletesen lehessen leengedni a gőztérbe valamilyen mechanikai szerkezetet, jellemzően liftet alkalmaznak.

2.2.2 Kemence működése

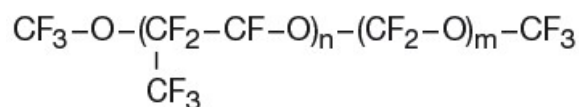
A kemence üzembe helyezése után a fűtőszál segítségével elkezd melegíteni a Galden folyadékot. A Galden a forráspont elérésénél elkezd gőzt fejleszteni. Ebbe a Galden gőzbe lehet behelyezni a hordozót, ahogyan az ötös ábra első pontjában látható. A fejlődő gőzben nemcsak konduktív hőenergiát kapunk, hanem a látens hőt is, ami a halmazállapotváltozáshoz szükséges. A hordozó melegítéséhez jelentős mértékben ez a hőenergia járul hozzá. A behelyezett hordozóra lecsapódik a gőz és így az elkezd melegedni. Addig melegszik, míg el nem éri a gőz hőmérsékletét, ugyanis akkora már nem csapódik le további folyadék a hordozóra, valamint jól látszik az ábrán is, hogy a folyamat előre haladásával a gőztér gyorsan visszafejlődik. A forrási hőmérséklet elérését bizonyítja a tény, hogy amikor kivesszük a panelt a kemencéből gyakorlatilag száraz felülettel vehetjük ki azt, mivel a rá kondenzálódott folyadék már lefolyt róla vagy újra gőz halmazállapotúvá vált. Ezt a folyamatot mutatja be az 5. ábra.



5. ábra: A gőzfázisú forrasztás folyamata

2.3 A Galden folyadék

A Galden folyadék egy bizonyos PFPE vagyis Per-Fluoro-Poly-Ether típusú műanyag. Az alábbi 6. ábrán a Galden általános képlete látható:

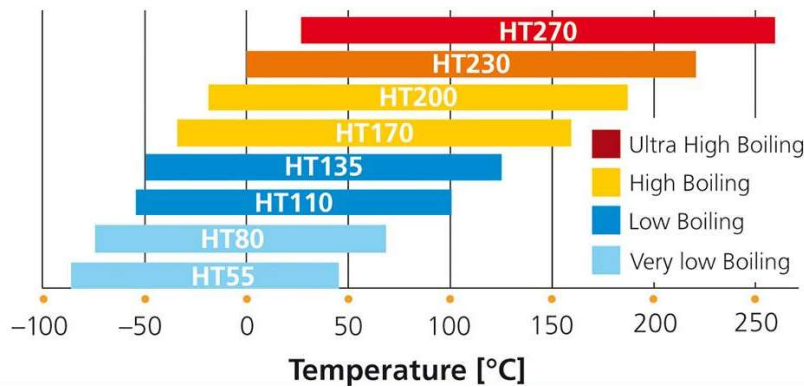


6. ábra: Galden folyadék képlete [6]

A Galden PFPE típusú vegyszerek hőátadó folyadékoknak tekinthetők, forráspontjuk 55 ° C és 270 ° C közötti lehet a piacon kapható termékek alapján. Kiváló dielektromos tulajdonsága, magas kémiai stabilitása, valamint a nagyon alacsony és magas hőmérsékleten való működtetési képessége együttesen a félvezető és az elektronikai iparban alkalmazott körülményekhez a jelenleg elérhető legalkalmasabb folyadékot biztosítja. A Galden fontosabb tulajdonságai:

- Magas termikus stabilitás,
- jó dielektrikum szilárdság,
- kiváló vegyi közömbösség (az anyag inert, nem lép reakcióba),
- kompatibilitás fémekkel, műanyagokkal és elasztomerekkel,
- nincs öngyulladás pont.

Mivel a Galden folyadék fix és széles választékú hőmérsékleten körül forr (változataitól függ) így megfelelően meg tudja olvasztani mind az ólmos és ólommentes és egyéb forrasztásokat, típusaitól függően. Ezt szemléltetem a 7. ábrán.



7. ábra: Galden forrási hőmérsékletek [6]

2.4 A VPS technológia változatai

A VPS kemencék között is megtalálható a *standalone-batch* és *inline-conveyor* kivitel, az utóbbi által ezt a típusú újraömllesztéses forrasztást is bele tudják építeni a szereléstechológiát alkalmazó cégek a gyártósorba.

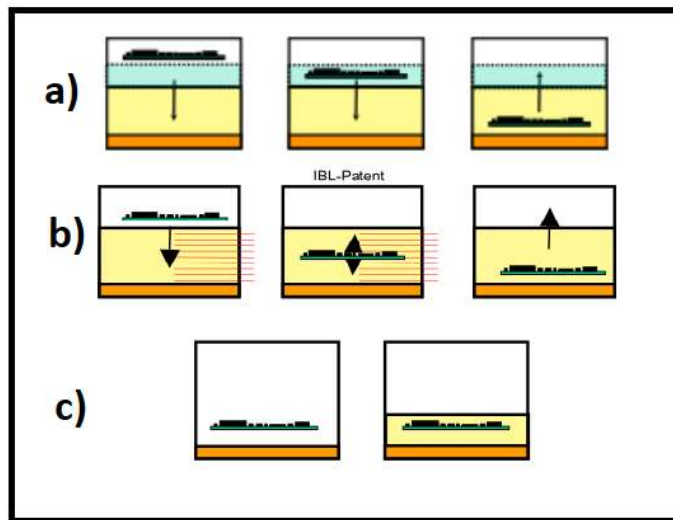
A fentebb már említett általános működés (sztenderd VPS) mellett a különböző gyártók kifejlesztettek saját üzemmódokat, amik még hatékonyabbá teszik a folyamatot, ezek Vacuum Soldering, Soft Soldering és Heat Level módok néven ismertek [5]. Ez látható a 8. ábrán.

Vacuum Soldering: A hagyományos forrasztási eljárás tovább gondolt formája. Amikor a forraszprofil beér a megömlési szakaszba, egy vákuumos funkció kapcsol be. Ennek következménye, hogy a forrasztási térből elszívja a gőzteret, továbbá a forraszpasztában képződő gázokat is eltávolítja. Ez segít a zárványképződés megakadályozásában. Létezik már kétvákuumos fázissal rendelkező berendezés.

Soft VP Soldering: IBL Technology által szabadalmazott eljárás. A forrasztás alatt nem telített gőzteret használ. Ennek következményében a koncentráció gradiense a magasság függvényében változik, így a magasság függvényében a hőátadási tényező is változik. A nyomtatott huzalozású lemez fel- és le-irányú mozgatásával állítható a hőprofil. Ezek a készülékek drágák és a használatuk is fokozott operátori odafigyelést igényel.

Heat Level (HL): Ebben a forrasztási módban a nyomtatott huzalozású lemezt elhelyezzük egy tartály aljára, a folyadék fölé, és csak ezután kezdődik a melegítés. A Galden a forráspont elérése után gőzt fejleszt, majd a gőz eléri a hordozót, amit elkezd melegíteni. A gőz szintje nem haladja meg a lemez magasságát, csak miután az is elérte

a gőz hőmérsékletét. HL kemencével könnyebben beállítható a fűtési gradiens, viszont a lemezhez mindig optimalizálni kell a hőprofil.



8. ábra: Forrasztási eljárások: sztenderd (a) VPS, (b) SVP, (c) Heat Level. [5]

3 Fizikai ismeretek

A következő fejezetben azokat a fizikai folyamatokat ismertetem, melyek ismerete elengedhetetlen a folyamat szempontjából.

3.1 A Newton-féle hőátadási egyenlet

A hordozó gőzbe való merítésével hőenergiát adunk át, ez a hőátadás a képződő filmréteg és a lemez között megy végbe. Ezt a folyamatot egyszerűen leírja a Newton féle hőátadási törvény (1).

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha * A * (T_w - T_k) \quad (1)$$

- Q – átadott hőenergia [J]
- α – hőátadási együttható [$W/m^2 * K$]
- A – felület nagysága [m^2]
- T_w – környezet hőmérséklete [K]
- T_k – test hőmérséklete [K]

Az idő alatt átadott hőenergia egyenlő lesz a felület nagysága, a hőátadási együttható és a környezet és test hőmérsékletkülönbségének szorzatával.

A *hőátadási együttható* (tényező) meghatározása nehéz, mivel sok tényező befolyásolja értékét. Ilyenek lehetnek a test tulajdonságai (hővezetőképesség, forma, felületminősége), a hőmérséklet, a folyadék hővezető képessége és fizikai tulajdonságai (sűrűség, nyomás, stb.). Ennek segítségével használjuk a Nusselt-számot (Nu) (2), ami olyan dimenzió nélküli kifejezés, amely az áramló közeg és a fal határán végbemenő hőátadásra jellemző [7].

$$Nu = \frac{\alpha * l}{\lambda} \quad (2)$$

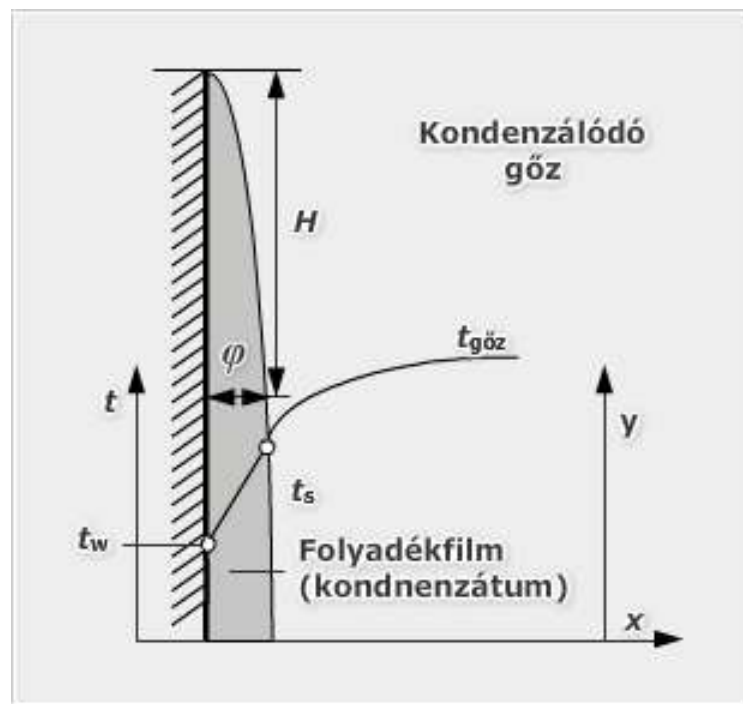
- α – hőátadási együttható [$W/m^2 * K$]
- l – jellemző hossz [m]
- λ – folyadék hővezetési tényezője [$W/m * K$]

A Nusselt-szám meghatározásához különböző modell-függvények állnak rendelkezésünkre. Viszont a megfelelő függvény kiválasztásával nagyon körültekintőnek

kell lennünk, mert a körülményektől függően más-más megközelítést kell használnunk. A függvény-használat függ attól, hogy: szabadkonvekció, kényszerkonvekció megoldással dolgozunk. Hogy lamináris, turbulens vagy átmeneti áramlás van. Hogy milyen geometria közt történik az áramlás, illetve hogy horizontális vagy vertikális irányt tölt-e be. A gőz kondenzációjához külön megfontolásokat szükséges alkalmaznunk.

3.2 Gőz kondenzációja

Ha nagy telítettségű gőzbe egy szilárd testet helyezünk el és a szilárd test hőmérséklete kisebb, mint a gőzé, akkor kondenzáció történik. Kondenzációnak pedig azt a folyamatot nevezzük, amikor a szilárd testen cseppek vagy vékony hártáréteg (film réteg) jelenik meg. Ez a hártáréteg a gőz folyékony állapotbeli megfelelője. A gyakorlatban többnyire filmkondenzációról (9. ábra) beszélhetünk. Ez kihasználható az egyenletes hőelosztás és melegítéshez a hordozón, mivel mikor lecsapódik hőenergiát ad át a test teljes felületén, amíg el nem éri a gőz telítettségű hőfokát, a forrási hőmérsékletet [7].



9. ábra: Filmkondenzáció függőleges síkon [7]

- φ – film kondenzátum vastagsága [m]
- H – kondenzáló szakasz [m]

Mivel a merőleges síkon elhelyezkedő NYÁK felületén nem egyenletesen jön létre a kondenzátum, ezért a hőátadási tényezőt lokális pontokban kell vizsgálni ehhez a Newton hőátadási törvényének egy általánosabb (3-4) formáját, kell használni.

$$Qc = \int_{t_0}^{tr} a * A * (Tk - T(t)) dt \quad (3)$$

- t – melegedési idő [s]

$$Qa = cp * m * (T(t) - (T(t_0))) \quad (4)$$

- cp – mérőpont fajlagos hőkapacitása [J/kg*K]
- m – tömeg [kg]

Az alábbi képlet (5) alapján lesz számolható a referencia- és a melegpont közti hővezetés.

$$Qp = \int_{t_0}^{tr} qk * dt = \int_{t_0}^{tr} \left(\frac{T(t) - Trp}{R1} - \frac{T(t) - Trp}{R2} \right) * dt \quad (5)$$

- qk – hőáram [W]
- T(t) – mérőpont hőmérséklete [K]
- TRP – referenciapont hőmérséklete [K]
- Rx – hőelem vezetékének ellenállása [Ω]

Innen már kiszámítható a hőátadási együttható (6).

$$a = \frac{Qa + Qp}{\int_{t_0}^{tr} A * (Tk - T(t)) dt} \quad (6)$$

Másik fontos paraméter lehet az anyagra a termikus diffuzivitás (7), ez befolyásolhatja a kondenzátum vastagságát és a hőmérsékleteloszlását.

$$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp} \quad (7)$$

- α - termikus diffuzivitás [m²/s]
- k - hővezetési tényező [W/m*K]
- ρ - sűrűség [kg/m³]
- cp - fajlagos hőkapacitás [J/kg*K]

3.3 Hőkapacitás számítása

A hőkapacitás számításakor fajlagos hőkapacitásról beszélünk, ahol azt is figyelembe vesszük az anyagi tulajdonságon felül, hogy az adott elem mekkora m – tömeggel rendelkezik. A fajlagos hőkapacitás mennyisége megadja (8-as képlet), hogy mennyi hőt kell közölni adott, egységnyi tömegű anyaggal ahhoz, hogy hőmérséklete 1 kelvinfokkal megváltozzon. Mértékegysége: $J/(kg \cdot ^\circ K)$.

$$c = \frac{Q}{m \cdot dT} \quad (8)$$

- c – fajlagos hőkapacitás (specific heat capacity) [$J/(kg \cdot ^\circ K)$]
- Q – hőenergia [J]
- m – tömeg [kg]
- dT – hőmérsékletváltozás [$^\circ K$]

Az alkatrészek tömegének kiszámítása az anyag sűrűsége és térfogatából származik a (9)-es képlet alapján.

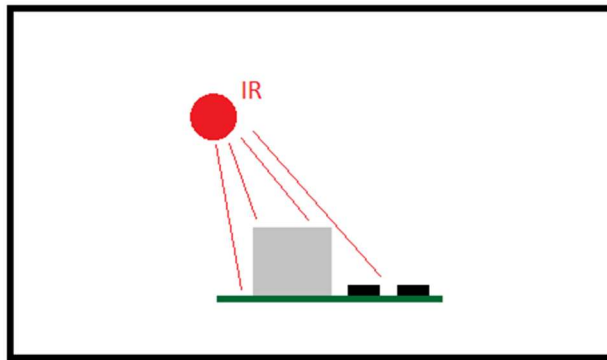
$$m = \rho \cdot V \quad (9)$$

- ρ - anyag sűrűség [g/cm^3]
- V – térfogat [cm^3]

4 Árnyékolási jelenség

Munkám során az árnyékolás jelenségével foglalkozom, mely többféle forrasztási technológiánál is megjelenik.

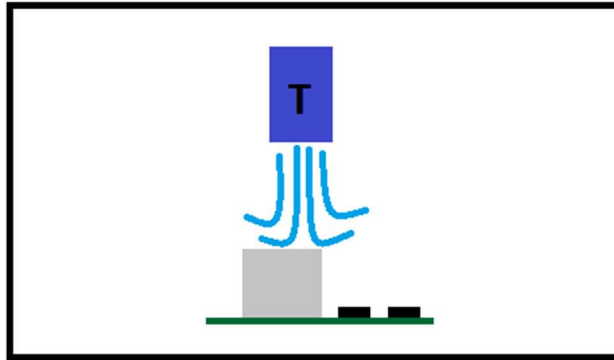
Amikor forrasztási hőátadásnál árnyékolásról beszélünk, arra gondolunk, hogy pl. egy nagyobb alkatrész kitakarja a többit ezzel meggátolva a minőségi forrasztást. Az így keletkező egyenetlenségek forrasztási hibához, pl tombstone-hoz, azaz sírkőeffektushoz vezethetnek. [2] A tombstone jelenség lényege, hogy a két kivezetős alkatrészek egyenetlen melegedése végett az alkatrész egyik oldalán előbb olvad meg a forrasz, mint a másikon. Ilyenkor a megolvadt oldalon lévő forrasz a felületi feszültségből kifolyólag oldalélére állítja az alkatrészt, ezzel rövidzár hibát okozva.



10. ábra: Infravörös újraömlesztéses kemenceárnyékolási hatása

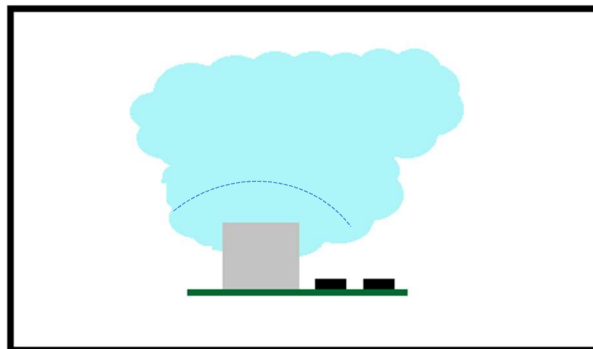
A fenti 10. ábrán az infravörös forrasztás esetében a sugárzást blokkoló árnyékolás látható pl. egy nagyméretű alkatrész esetében. Az ábra megfelelően mutatja, hogy a nagyobb alkatrész kitakarja az infravörös sugarakat, így a mellette lévő kis alkatrész nem melegszik megfelelően.

A második képen (11. ábra) látható egy konvekciós újraömlesztéses kemence belső felépítése. A felső részről magas hőmérsékletű befűjt gáz érkezik az NYHL-re. Ez a gőz egy magasabb alkatrésyre érkeve megkeverheti az áramlást. Így a hő az alacsonyabb alkatrészeket nehezebben fogja elérni, ez pedig hibajelenséghez vezethet.



11. ábra: Konvekciós újraömléses forrasztás árnyékolási hatása

A harmadik képen a gőzfázisú forrasztásnál elképzelt árnyékolási jelenség látható. Ezzel foglalkozom én is a munkám alatt, mivel ennek a jelensége nem körüljárt még az irodalomban. A forrasztás alatt a gőztérbe behelyezett hordozó, nagy hőkapacitású alkatrészei a nagy hőkapacitásnak és jó hővezetésnek köszönhetően gyorsabban „fogyasztják” maguk körül a gőzt, ezzel meggátolják a gőz egyenletes kondenzációját az alkatrész környékén elhelyezkedő kisebb alkatrészeken. Ennek az árnyékolásnak a hatása nagyságrendi méretkülönbséggel rendelkező alkatrészek környékén feltételezett. A gőzfázisú forrasztás során megfigyelt kiemelt mennyiségben jelentkező tombstone jelenségek [2] egyik okozója lehet a 12-es ábrán vázolt eset. Munkám során ezeket a hibajelenségeket fogom keresni.

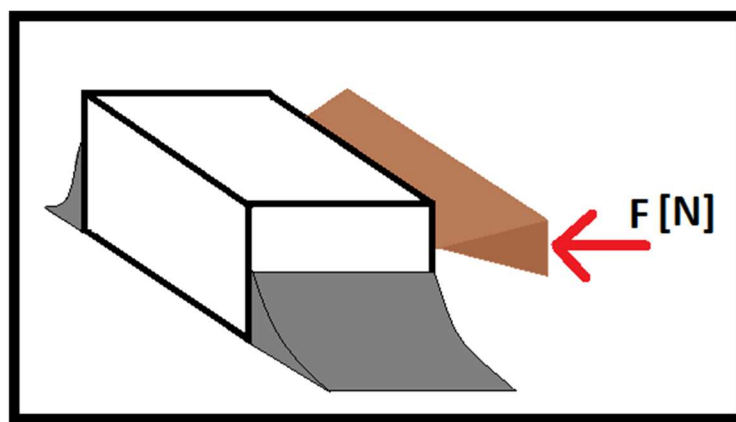


12. ábra: Gőzfázisú forrasztás árnyékolási hatása

5 Nyírási szilárdság vizsgálat

Munkám során a sírkoeffektus mellett egy másik módszerrel is vizsgáltam a nagy alkatrészek kisebbekre vonatkoztatott hatását, mégpedig a kötések mechanikai tulajdonságainak segítségével. Ezt a vizsgálatot nyírási szilárdság ellenőrzéssel szokás egy destruktív eljárás során elvégezni, ennek az alapjait lentebb mutatom be.

Ennek a vizsgálatnak a lényege, hogy egy kés segítségével az SMD alkatrészekre erőt fejtünk ki vízszintes irányban. **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.. ábra)**



13. ábra: Nyírási szilárdság vizsgálat

A mérés szempontjából lényeges, hogy az erő növelése és a kés sebessége egyenletes legyen. A vizsgálat során, ha jobban megfigyeljük egy alkatrész esetén nem csak egy, hanem két forrasztott kötést is vizsgálunk (két kivezető esetén).

Abban az esetben, ha a forrasztási kontaktusfelület is felszakad a mérés nem a forrasztás minőségét határozza meg, hanem a nyomtatott halálózású lemezét. A leírtakból látszik, hogy a vizsgálat egyszerű és viszonylag jó képet ad a forrasztás minőségéről. Az alábbi táblázatba pár jellegzetes értéket tüntetek fel ellenállásméretek függvényében.

1. táblázat - Tipikus nyírási szilárdság értékek

Ellenállás mérete	Nyírási szilárdság várható értéke
0804	60-80N
0603	25-40N
0402	15-20N

6 Az első kísérletek – tervek és eredmények

Munkám során arra törekedtem, hogy egy olyan konstrukciót tudjak kidolgozni, ami segíthet alátámasztani, hogy az árnyékolási hatás megjelenik a gőzfázisú forrasztás folyamatában. A fő célom, hogy minél valóságosabb modelleket dolgozzak ki a kísérletekhez ezzel bizonyítva nem csak azt, hogy létezik, hanem hogy találkozhatunk vele akár a mindennapi gyártástechnológia használata közben is.

A kezdeti kísérleteim tapasztalataiból tanulva 3 saját tervet készítettem első lépésként, hogy lássam, melyik irányba lenne érdemes elindulni.

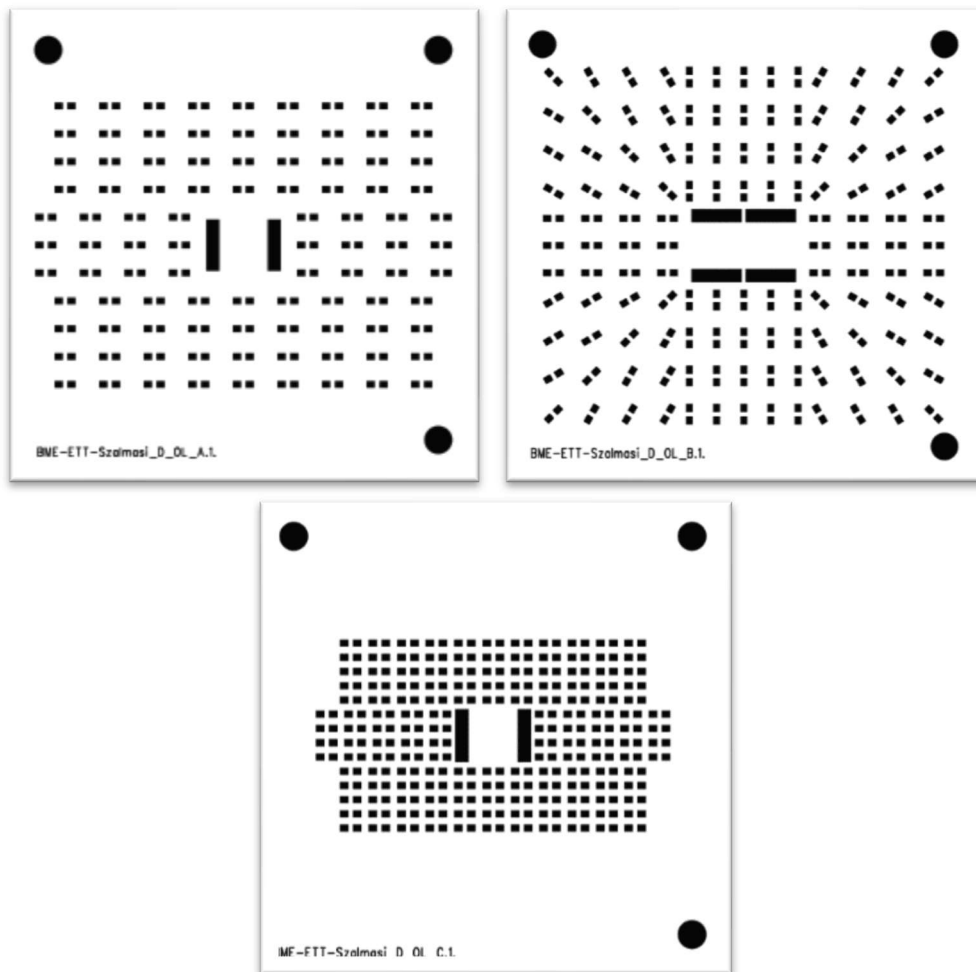
6.1 Korai kísérletek

Az előzőleges kísérletek alapján kidolgoztam egy technológiai tesztpanel sort, amely valódi villamos funkcióval nem bír, csak a forrasztási tesztelés funkcióját valósítja meg. Ennek tükrében egy nagyméretű PET dielektrikumból álló kondenzátort (4036), mint nagy hőkapacitású felületszerelt alkatrészt helyeztem el a panelem közepén, ezt pedig kisméretű (0805) ellenállásokkal ültettem körbe. Ezzel az elrendezéssel szeretném a nagy alkatrész gőz- és hőelvonó hatását vizsgálni a kisebb alkatrészekre. Az elsődleges munkáknál a három csoportot „A”, „B” és „C” névvel illetttem. Az alábbi 14. ábrán látható az adott csoportok terve 80*80 mm-es nyákra tervezve. Az „A” munkánál csak egyirányban helyeztem el ellenállásokat hőelem körül, a „B” munkánál az alkatrészek már merőlegesen álnak a nagy hőelemtől számított origó (szerelőlemez közepétől számított) sugarain, míg a „C” tesztnél visszatértem az első elgondoláshoz. Itt jóval sűrűbben populált tervet készítettem ezzel gátolva a könnyű folyadékáramlást és elősegítve a nagy alkatrész keresztthatását a kis alkatrészekben a forrasztás közben.

Az alkatrészekhez szükséges forrasztanyagot stencilnyomatással vittem fel, az alkatrészek beültetése TWS Laser Quadra típusú beültető berendezéssel készült.

Az alkalmazott forrasztaszta típusa standard, a tanszéki gyártásban is alkalmazott SAC305-ös ólommentes ötvözet volt.

A forrasztáshoz a 3. ábrán látható Asscon Quicky 450 forrasztóállomást használtam. A kemence beállítások 80%-os fűtőtéljesítményre voltak állítva az általános gyártási körülmények reprodukálása érdekében. A kemence automatikusan felismeri a benne található LS230 típusú Galden folyadékot, amely 230 °C körüli forrásponttal bír.



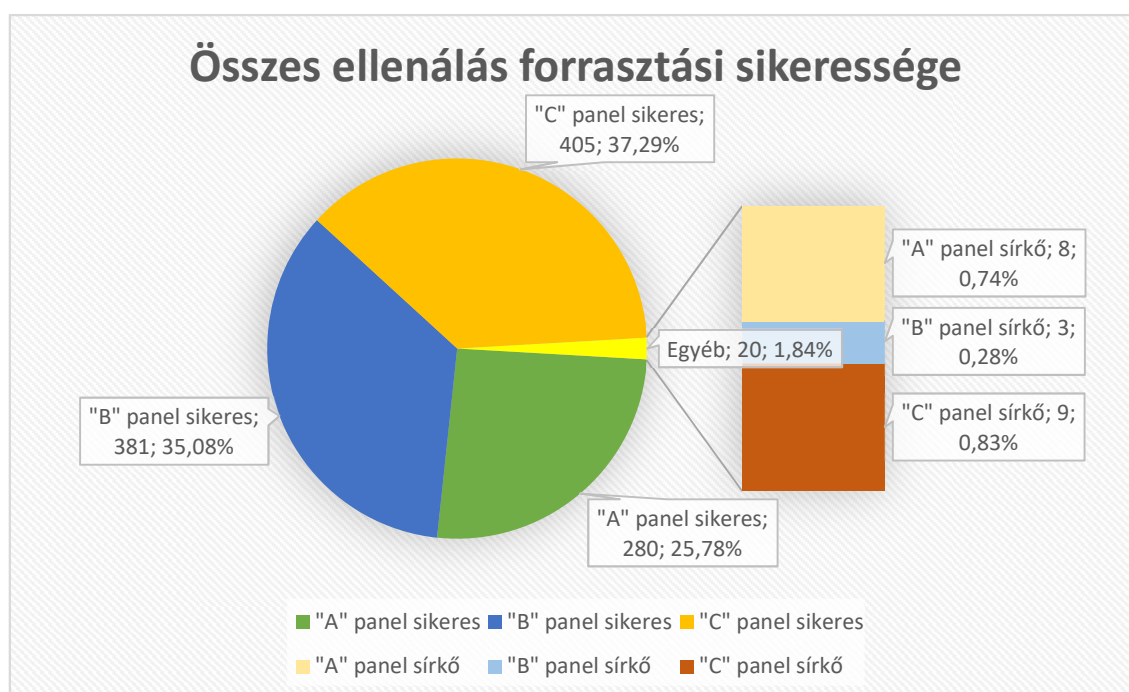
14. ábra: Az A (balra fent), B (jobbra fent) és C (lent) panelek layout rajza.

6.2 Korai kísérletek eredményei

A tesztek alapján arra kerestem választ, hogy mennyi alkatrész lesz sírkőeffektus hibával terhelt a forrasztás esetében. Ilyen szempontból a „B” teszt volt a legkevésbé sikeres. Itt a folyadékáramlás a kialakítás miatt szinte tökéletes volt ezzel egyben a felmelegedés is egyenletesen ment végbe a hordozón. Ezt igazolja a lenti 2. táblázatban bemutatott eredmény.

2. táblázat – hibák száma az egyes tesztpaneleken

Hibák száma a tesztpanelokon	A típus	B típus	C típus
1	2	0	2
2	0	1	0
3	6	2	7



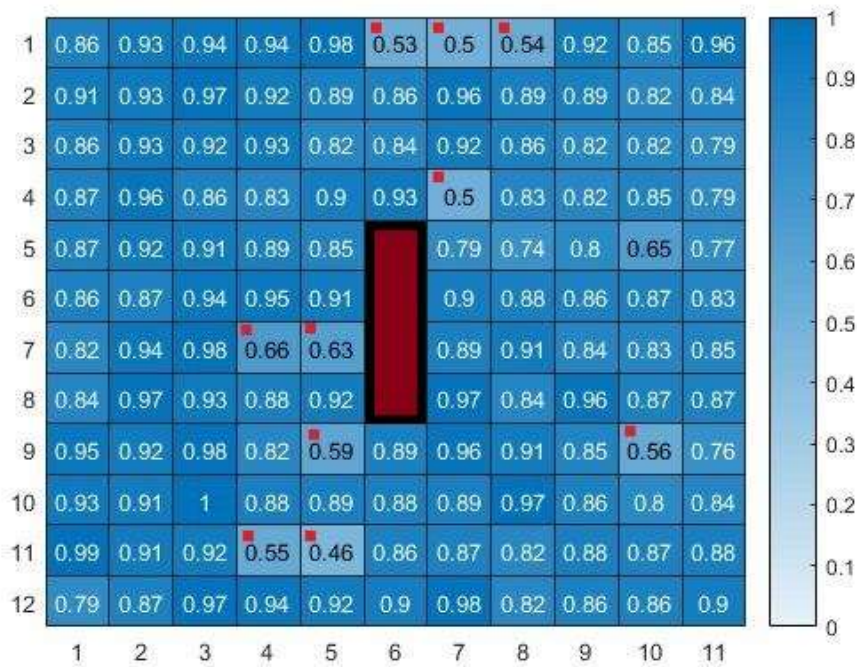
15. ábra: Ellenállások forrasztási sikeressége

Az „A” és „C” teszt statisztikailag ugyan annyi hibát hozott. Ezek a fenti táblázatból is leolvashatók, illetve a diagrammon, ami a táblázat alatt található. Így egy újabb tesztet a nyírési szilárdság vizsgálatot használtam fel arra, hogy eldönthessem, melyik teszt volt a sikeresebb. A vizsgálat során az ETT saját készítésű letolóerőmérőjét használtam megadott korlátokkal. Az általam használt 0805-ös ellenállások letörése nagyjából 60-80 N között helyezkedik el, míg az én méréseimnél ez 25-50 N közé esett. Hamar rájöttem, hogy a gond az eszköz kialakítása, mivel a tanszéki gép úgy méri az erőt, hogy a fenti nyomás az alsó mérlegre fejt ki erőt, de a 8 cm hosszú hordozó és a hozzá használt befogó eloszlatta a nyomást, így a mérés nem volt pontos. Feltételeztem, hogy a gép mindig ugyan akkora hibával téved így egy statisztikát készítve a legjobb méréshez

képeket dolgoztam fel az eredményeket. Így bár csak az eredmények tájékoztató jellegűek egymáshoz képest jó viszonyítást adnak. Ezekből egy szintértéket készítettem az „A” és „C” tesztek alapján (16. és 17. ábrák), mivel a „B” típuson elhanyagolható volt a hiba azzal nem foglalkoztam tovább. Az alábbi ábrákon látható a kapott szintérték. A piros négyzettel jelölt helyzetekben fordult elő sírkoeffektus, így ott azért is tér el jelentősen a mérés.



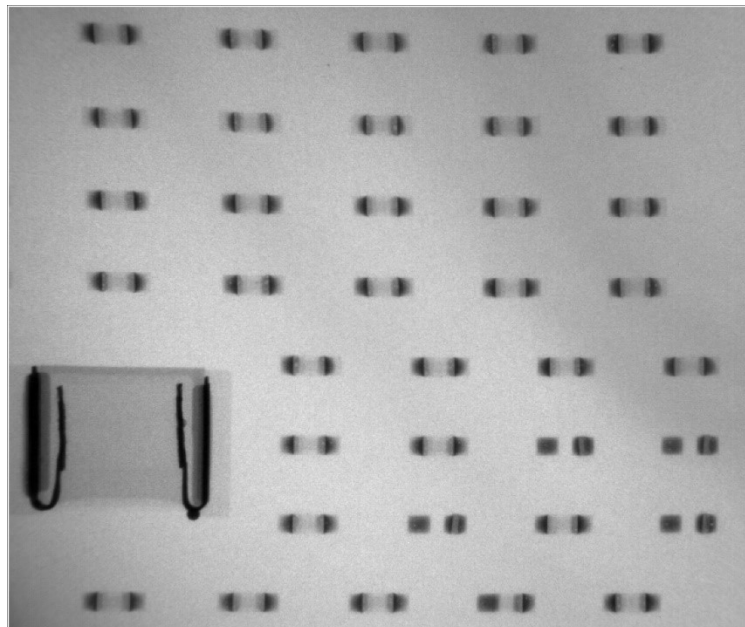
16. ábra: Az 'A' nevű panel nyírási szilárdság mérési eredménye szintérképen, relatív 0-1 értékeléssel.



17. ábra: Az 'C' nevű panel nyírási szilárdság mérési eredménye szintérképen, relatív 0-1 értékeléssel.

A nyírási szilárdságmérés alatt kiderült, hogy az ellenállások kötési minősége a nagy alkatrésztől távolodva rosszabb értéket mutatott, mint a hőkapacitáshoz közel. Ennek oka lehet, hogy a magas (80%) teljesítményen a szélső alkatrészek gyorsabban forrtak be, mint a középső részekben elhelyezkedők, mivel a forraszpaszta olvadáspontját lassabban érte el a hőkapacitás hőelvonó tulajdonsága miatt.

Továbbá megfigyelhető volt a kísérlet után elvégzett felvételeken (18. ábra), hogy a sírkővel terhelt alkatrészek a várt irányba álltak fel. Ugyanis az volt az elvárás hogy a kondenzátortól távolabb lévő forrasztási felület és a rajta levő forraszpaszta gyorsabban olvadjon meg, így felállítva az alkatrészt.



18. ábra: Siskőeffektus röntgenfelvétele

A mérés során arra jutottam, hogy a „C” teszttel érdemes tovább foglalkozni. Ezt az az indok is megerősíti, hogy az elektronikai eszközök mérete egyre kisebb így az alkatrészsűrűség is nő. Ez az indoklás tovább erősíti azt a célomat, amit a fejezet elején említettem, hogy minél valóságosabb legyen az elrendezés.

Ekkor lett céлом új panelok kidolgozása, ahol méretben csökkentett 0603-as ellenállásokat használok. Az új méret segít a letolási kísérlet pontosabb elvégzésében, mivel ezekhez már fogom tudni használni a tanszéki Dage BT2400 típusú, max. 50 N erőt mérő cellával rendelkező gépet (19. ábra). Így a forrasztási kísérlet elvégzése és annak feldolgozása után a mechanikai vizsgálatokat is el fogom tudni készíteni, immáron pontos

értékekkel. Az előzetes tesztekkel ellentétben itt már csak egyféle modul tesztelését állítottam célnak.

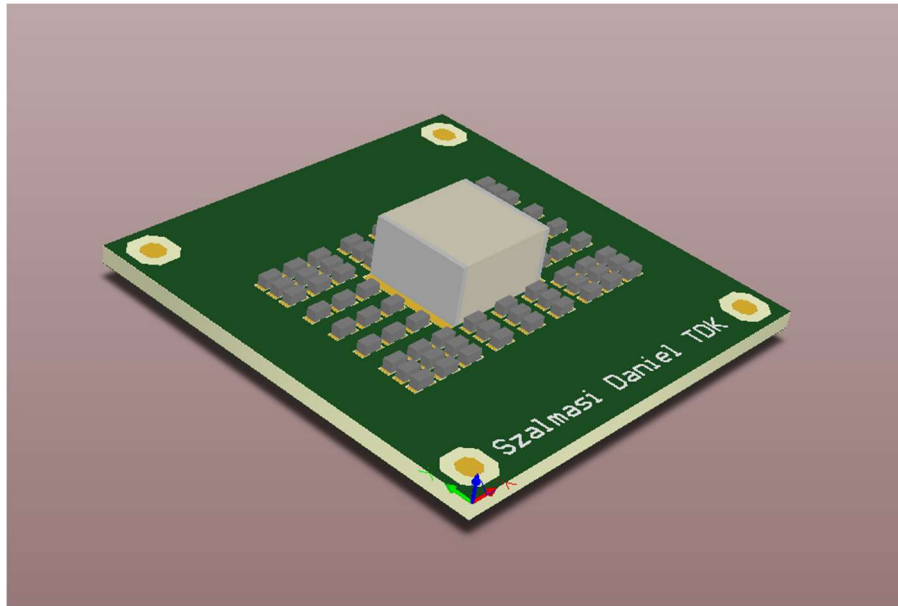


19. ábra: Dage toló és húzó gép az ETT tanszéken

7 Módosított kísérletek – tervek és eredmények

7.1 Új kísérleti modulok tervezése

Az új tesztekhez új panelokat terveztem. Ennek a tervezése során figyelembe vettem a korábbi tapasztalatokat és új meglátásokat. Tervezés közben törekedtem arra, hogy a kis ellenállásokat a lehető legközelebb helyezzem el a nagy hőkapacitáshoz. Ez a távolság megközelítőleg 200 μm volt minden irányban. Mivel a teszt célja az lenne, hogy minél közelebb helyezkedjenek el a nagy és a kicsi alkatrésztetek egymáshoz, erre törekedtem; ez két oldalról könnyedén elérhető volt. Viszont az alkatrészek azon oldalán, ahol a forrasztási felület található ott nem tudom az alkatrésztetet közelíteni csak a forrasztási felületeket. Tervezéskor figyelembe vettem azt is, hogy nehogy a túl sok kis méretű alkatrész egymásra hasson így csökkentettem az alkatrészek számát is egy kicsivel. A panel méretét a negyedére vettem a korábbi tesztekhez képest, mivel a csökkent alkatrész méret és darabszám miatt nincs szükség akkora méretekhez. Így a panelokon 1 darab nagy hőkapacitás és 72 darab ellenállás lesz elhelyezve, az ellenállások megkülönböztetése érdekében mindegyikhez egy számot rendeltek 1-től 72-ig a bal-felső sarokból haladva a jobb-alsóig. A 21-es ábrán látható az általam tervezett teszt áramkör 3D képe.



19 ábra: Tervezett NYÁK 3D képe

A kísérletekhez 12 darab tesztpanel készítettem és ezekhez még 3 darab kontroll panelt. Így ellenőrizni tudom, hogy a hiba minden esetben fent áll vagy csak a hőkapacitással ellátott panelokon.

A tesztekhez lézerrel készítettem stencilt papírból, mivel annak vastagsága megfelelő és kis szerelési felület esetén ár/minőség szempontjából optimálisan használható. A kész stencilt egy befogóba helyeztem, így a stencil és a NYÁK egymáson való elhelyezkedése pontosabb.

A beültetés-forrasztás lépéseinek a paraméterei megegyeztek a korábbi (6.1 fejezetben is taglalt) beállításokkal. A nagy hőkapacitást kézzel ültettem be.

Ezek után négyesével végeztem a forrasztásokat az Asscon Quicky munkaterében, a korábbi kísérletekkel megegyező paraméterek segítségével.

7.2 Felhasznált alkatrészek összehasonlítása

Munkám során kétféle alkatrészt használtam. Egy nagyobb méretű (4036-os) kondenzátort és egy kisebb (0603-as) ellenállást. A kísérleteket a köztük lévő fizikai tulajdonságokra építem. Mint korábban az ötös fejezetben ismertettem az árnyékolási hatást, a hangsúly az alkatrészek közti különbségeken alapult. Elsősorban az az oka az árnyékolásnak, hogy a nagyobb alkatrészek „kitakarják” a kisebbeket, azaz a nagyobb alkatrészek méreteikből és paramétereikből fakadóan elfogyasztják a gőzt maguk körül. Ez jól látszik az alábbi táblázatban feltüntetett adatokból, mivel a kondenzátor magassága

5.5 mm, míg az ellenállásé csak 0,45 mm. Ez egy nagyságrend különbség, ami a 19-es ábrán is jól látható. A két alkatrész méreteinek aránya $H_{\text{ellenállás}}/H_{\text{kondenzátor}}$, ami szám szerint $0,45/5,5=0,081$. (1/12,2)

3. táblázat - Alkatrészek fizikai tulajdonságai [10][11]

	<i>Kondenzátor 4036</i>	<i>Ellenállás 0603</i>
<i>Anyag</i>	PET	AL ₂ O ₃
<i>Hossz (L) [mm]</i>	10,2	1,55
<i>Szélesség (W) [mm]</i>	9,1	0,85
<i>Magasság (H) [mm]</i>	5,5	0,45
<i>Sűrűség (ρ) [g/cm³]</i>	1,37	3,94
<i>Hőkapacitás (c) [J/kg*°K]</i>	1200-1350	451-950

A magasság összehasonlításán túl látszik, hogy a kondenzátor fajlagos hőkapacitása sokkal nagyobb, mint az ellenállásé. A további számításnál a hőkapacitás átlagával számolok. $c_{\text{ellenállás}}/c_{\text{kondenzátor}}$, ami $700/1275=0,55$. (1/1,78)

A hőkapacitás mellett érdemes még összehasonlítani azt is, hogy mekkora az arány a melegedéshez szükséges energia között ($Q_{\text{ellenállás}}/Q_{\text{kondenzátor}}$). Ehhez viszont ki kell számolni az alkatrészek térfogatát és abból a sűrűség segítségével az alkatrész tömegét (10 képlet).

$$V = L \cdot W \cdot H \quad (10)$$

Az eredmények a 4-es táblázatban találhatóak.

4. táblázat: Alkatrészek számolt fizikai tulajdonságai

	Kondenzátor 4036	Ellenállás 0603
Térfogat (V) [cm ³]	0,51051	0,000593
Tömeg (m) [g]	0,6994	0,00234

A 8-as képlet használatához hiányzik a dT hőmérséklet ismerete is, de ez nem is szükséges mivel mind a két alkatrészt azonos hőmérsékletre melegíti a gőzfázisú forrasztó kemence:

$$Q = c * m * dT \quad (11)$$

A továbbiakban tudom vizsgálni a $Q_{\text{ellenállás}}/Q_{\text{kondenzátor}}$:

$$\frac{Q_{\text{ellenállás}}}{Q_{\text{kondenzátor}}} = \frac{c(e)*m(e)*dT(e)}{c(k)*m(k)*dT(k)} = \frac{700*0,00234*dT}{1275*0,6994*dT} = \frac{700*0,00234}{1275*0,6994} = \frac{1,638}{891,735} \quad (12)$$

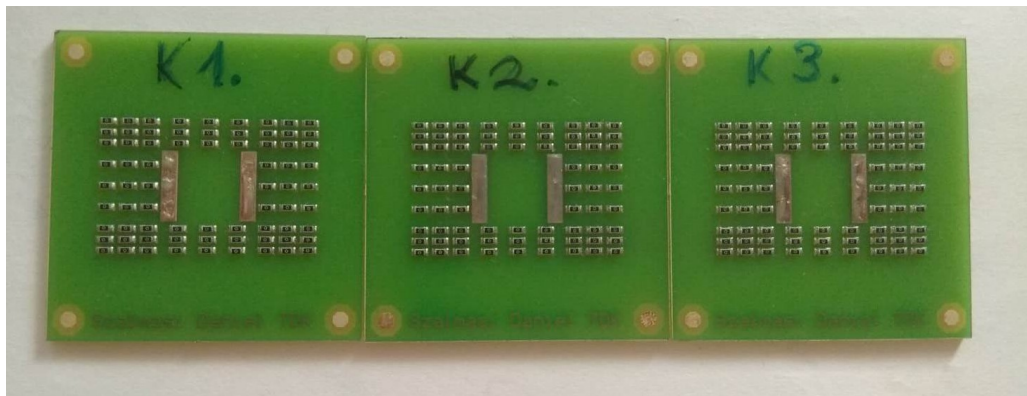
Jól látható a fenti levezetésből, hogy a kondenzátornak sokkal nagyobb energiaigénye van ugyanarra a hőmérsékletre való felmelegedéshez, mint a ellenállásoknak. (1/544,4)

8 Eredmények

A forrasztási kísérlet végén minden darabot, megvizsgáltam fénymikroszkóp segítségével. A beforrasztott ellenállások között a várttal szemben nem találtam hibát. vagyis sehol sem alakult ki sírkoeffektus.

8.1 Kontroll panelek

A kontroll paneleket alkatrész nélkül K1, K2... K3 elnevezéssel illetem meg. Minden panelra 72 darab ellenállást helyeztem fel. A forrasztás során, egyik panelon sem lépett fel forrasztási hiba. Ez látható a lenti 20. ábrán.



20. ábra: Kontroll panelek

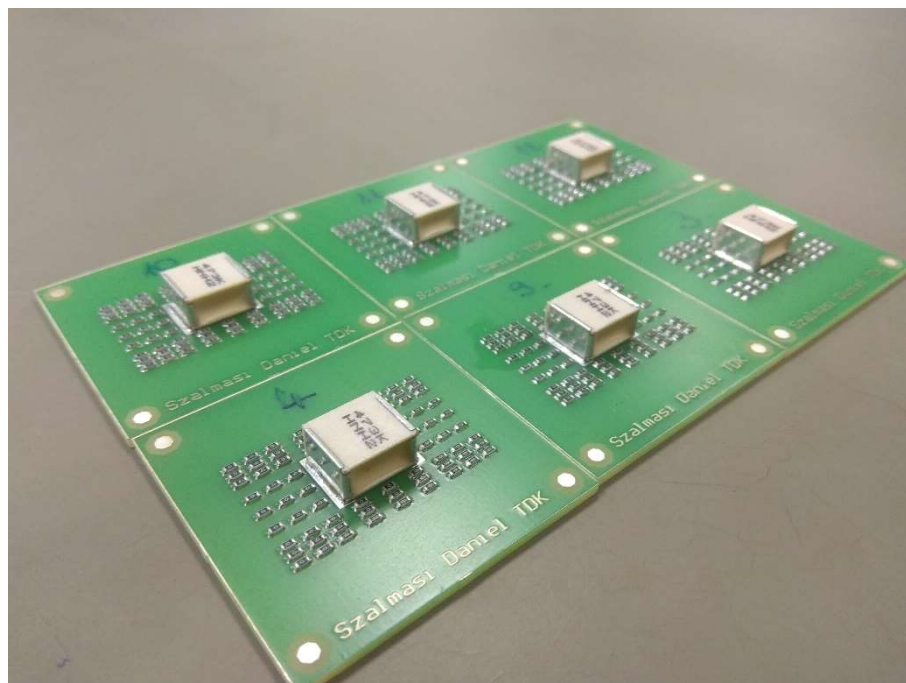
8.2 Kísérleti panelek

A kísérlet során az volt az elvárás, hogy a nagy hőkapacitású kondenzátor körüli ellenállások sírkoeffektust fognak generálni nagy számban, az alábbi 21. ábra szerint.



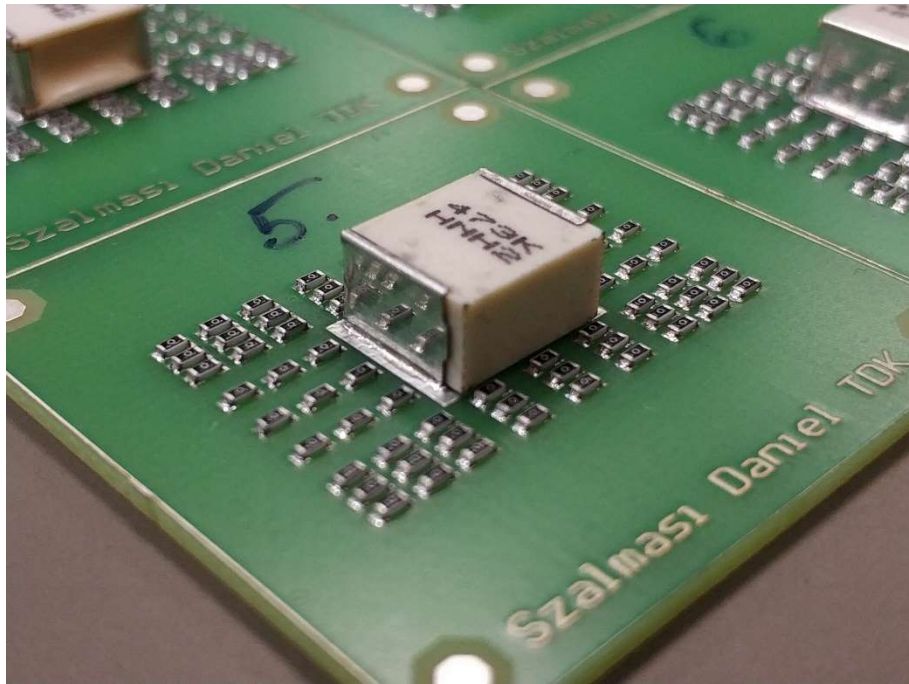
21. ábra: Várt sírkőeffektus

A kísérletsorozatban 12 darab panelt forrasztottam be nagy hőkapacitással ellátva. Ezeknek az elnevezése 1-12-ig történt. Ezek közül pár példa látható a 22. ábrán. A 12 szerelt panel közül egyiknél sem alakult ki hibajelenség.



22. ábra: Beforrasztott kísérleti panelok

A panelokon jól látható a méretből adódó különbség az ellenállás és a kondenzátor között. Ezt hangsúlyozza a 23. ábra.

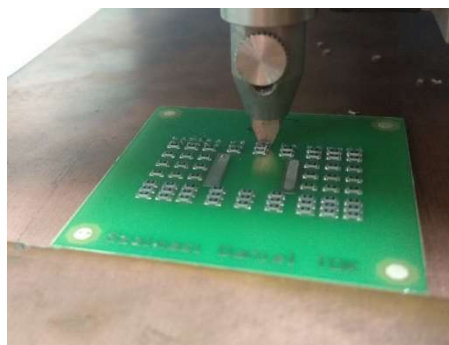


23. ábra: Méretből adódó különbségek

Készítettem a panelokról röntgenfelvételt is, de ezeken a képeken sem látható nyoma forrasztási hibának.

8.3 Nyírási szilárdság vizsgálat

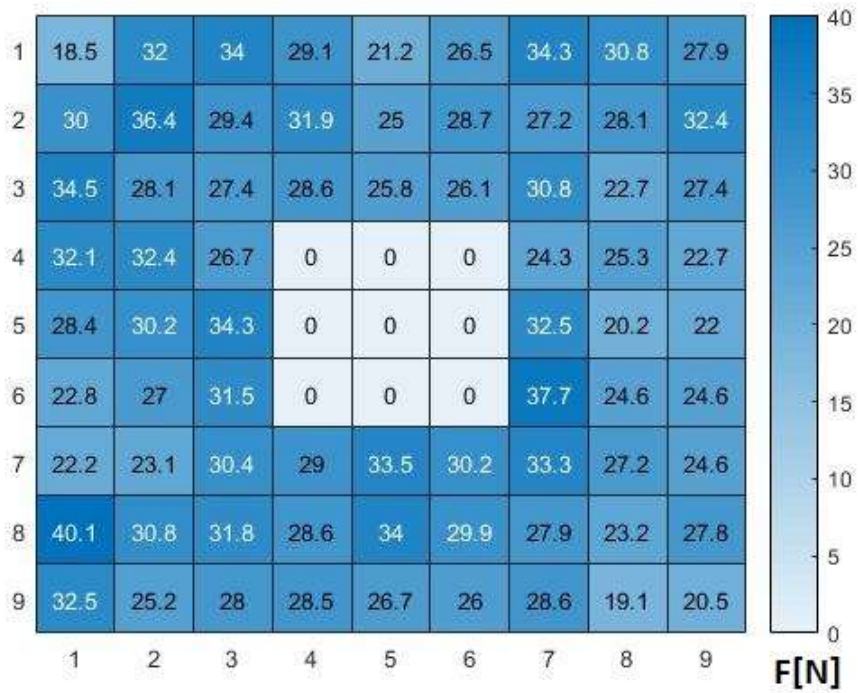
Mivel nem tapasztaltam forrasztási hibát az előzetes kísérletekhez hasonlóan itt is nyírási szilárdság vizsgálatot végeztem (24. ábra).



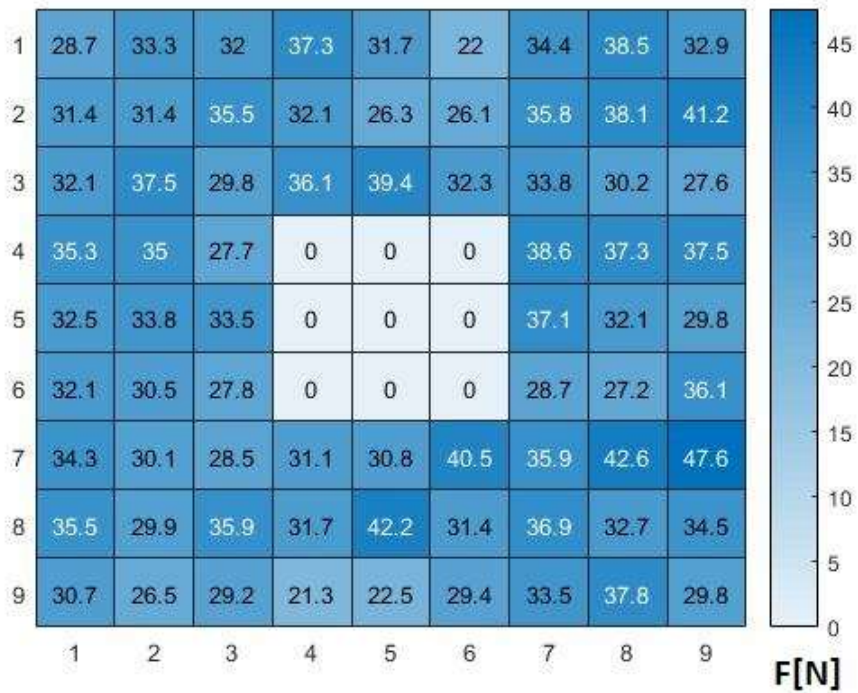
24. ábra: Nyírási szilárdság vizsgálata

Véletlenszerűen kiválasztottam 5 panelt a letolási kísérlethez, arra figyelve, hogy mind a három forrasztási körből legalább 1 darab legyen benn ezek között. Ezeknek az eredményét az alábbi 5 hőterképen ábrázoltam (25-29 ábrák). Az ábrázolt számok N-ban vannak megadva a berendezés pontos erő paraméterrel rendelkező kijelzője végett. A középső kilenc lokációban helyezkedik el a kondenzátor.

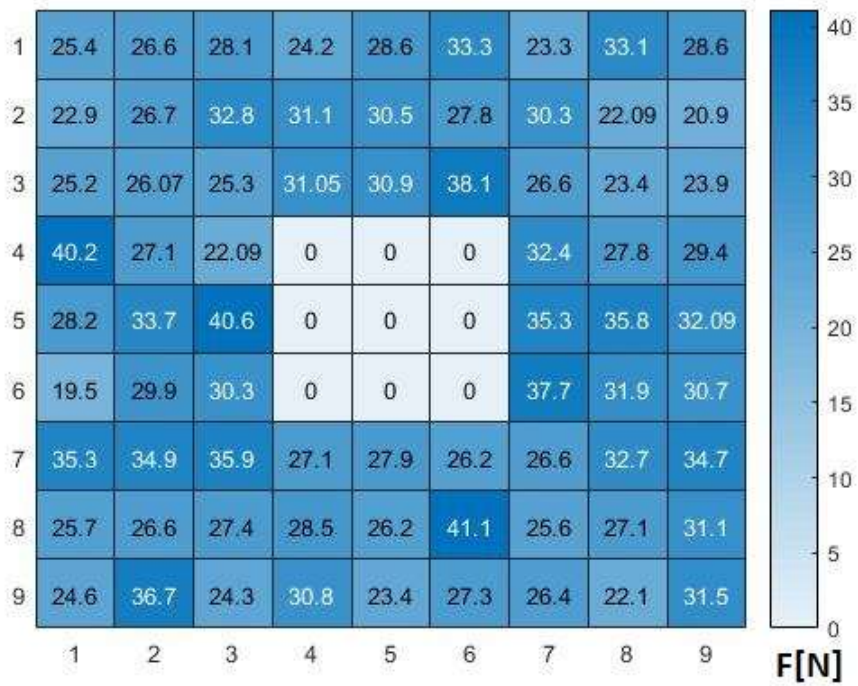
Minden panel esetében meghatároztam a maximális és minimális értéket és a szórást is (5. táblázat), illetve a végén az öt panelről egy hatodik szintérképet is készítettem (30. ábra), ami azoknak az előzők átlagából készült.



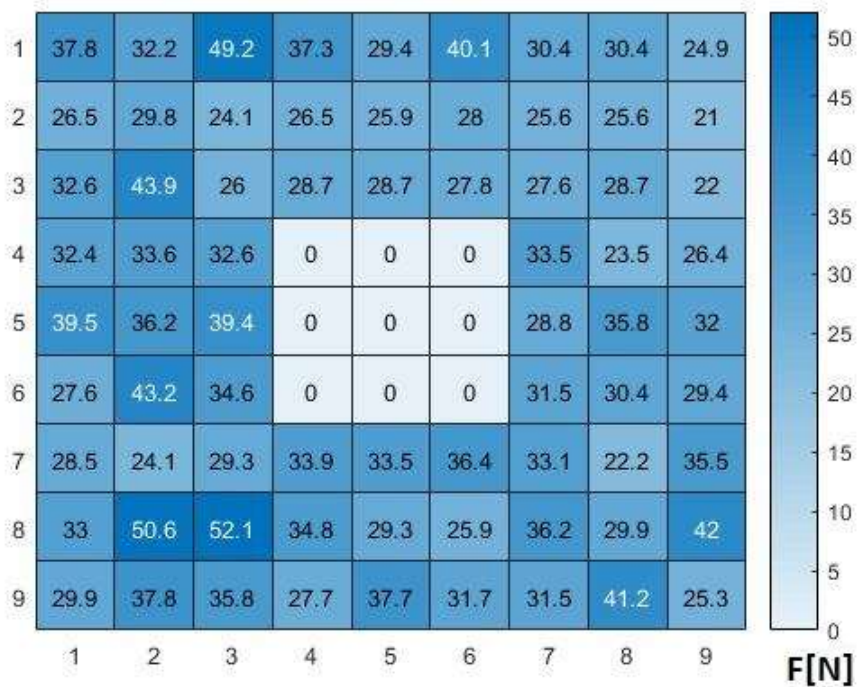
25. ábra: A 2-es tesztpanel nyírási szilárdsága szintérképén



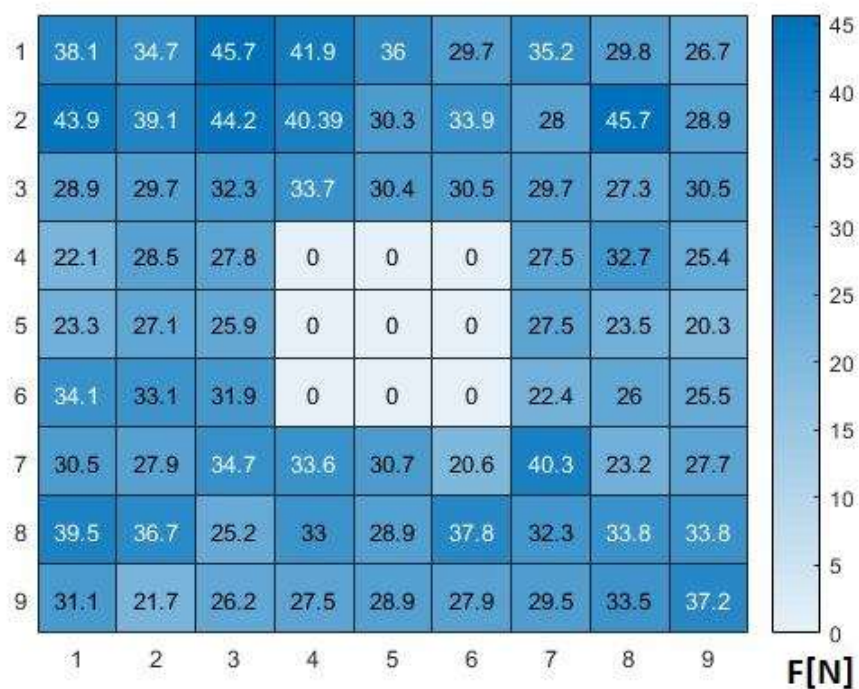
26. ábra: A 4-es tesztpanel nyírási szilárdsága szintérképén



27. ábra: A 5-ös tesztpanel nyírási szilárdsága szintériképen



28. ábra: A 8-as tesztpanel nyírási szilárdsága szintériképen

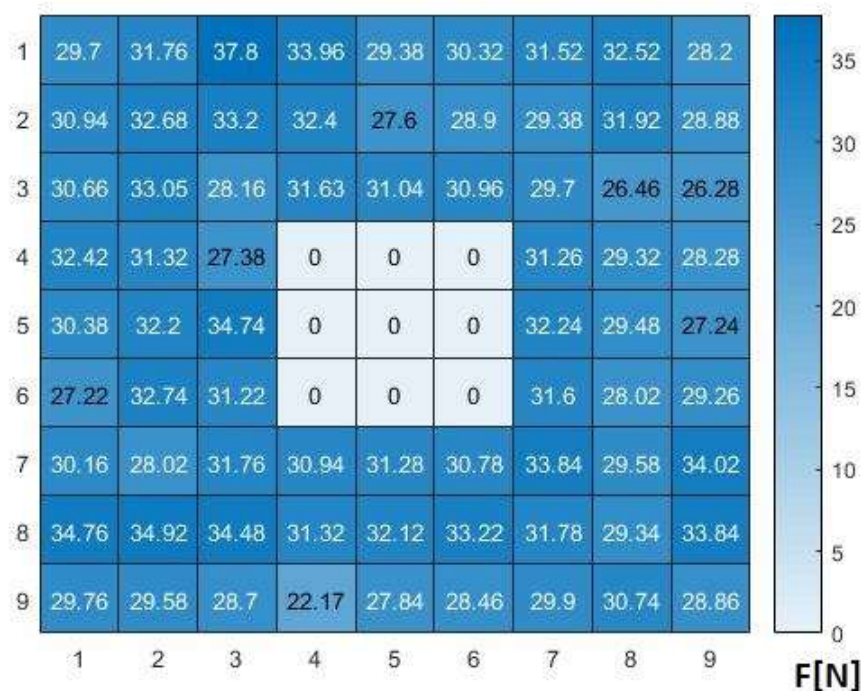


29. ábra: A 11-es tesztpanel nyírási szilárdsága szintértékpén

5. táblázat: Nyírási szilárdságvizsgálat értékei

<i>Panel</i>	<i>Min. érték [N]</i>	<i>Max. érték [N]</i>	<i>Átlag [N]</i>	<i>Szórás</i>
2	18,5	40,1	28,28	4,39
4	21,3	47,6	32,95	4,78
5	19,5	41,1	29,15	4,83
8	21	52,1	32,08	6,47
11	20,3	45,7	31,15	5,87

Az eredményekből jól látszik, hogy a panelokon az értékek nagyon változatosak, de összeségében nézve az 5 panelt hasonló statisztikai eredményeket kapunk. A következő 35-ös ábrán látható az összesített szintérték:



30. ábra: A nyírási szilárdság mérés átlaga szintérképen

Az ábrán jól látszik, hogy az elhelyezkedés nem függ össze a kötési minőséggel, mivel mindenhol hasonló eredményeket kapunk. A szórás a felére csökkent a többiéhez képest (6. Táblázat), ez is jól mutatja, hogy átlagban számítva a lokációk tekintetében kis különbségek vannak csak az egyes ellenállások között.

6. táblázat - Átlagolt nyírási szilárdságvizsgálat értékei

Panel	Min. érték [N]	Max. érték [N]	Átlag [N]	Szórás
Átlag	26,28	37,8	30,72	2,29

A fenti eredmények mindenképpen érdekesek és a korábbi vizsgálatok és feltételezések értelmében nem vártak.

Érdeemes megjegyezni, hogy a kemence teljesítménye elvileg nem változott az egyes forrasztási beállítások között, de a maximális beállításoktól tartózkodtam a gyakorlati beállítások közelítése érdekében. Utólagos hőprofil vizsgálat során kiderítettem, hogy a 217 °C környékén lévő olvadáspontot 0,3-0,5 °C/sec meredekséggel közelítettem mindkét vizsgálati sor alatt, így érdemes lehet a jövőben a kemence teljesítményének maximalizálásával is vizsgálni.

A korábbi eredmények esetében létrehozott tombstone hibajelenségek okozója feltehetően nem a nagy alkatrész volt, hanem a kondenzáció áramlástan leírásából következő kondenzátum-áramlás. A közelmúltban vizsgált probléma szerint [12] a lecsapódott gőz a szerelvény közepéről a szélek felé folyik, tovább bonyolítva a probléma feltárásának valós körülmények között vizsgálható hatásait. Ezt a megközelítést igazolja a felágaskodó alkatrészek iránya is.

9 Összefoglalás

Munkám során a gőzfázisú forrasztás árnyékolási jelenségével foglalkoztam. Saját tesztpanelt készítettem a kísérletekhez korábbi tapasztalataim alapján. Ezeken a panelokon vizsgáltam az árnyékolási jelenség előfordulását. A kísérletek alatt nem sikerült forrasztási hibát generálni, a korábbi mérésekből származó eredményekből, tehát az vonható le, hogy a sírkoeffektusok kialakulása nem a nagy hőkapacitásnak volt köszönhető. Feltételezhető, hogy a korábbi mérések alatt előforduló hibák abból származnak, hogy a panel közepe és széle között hőmérséklet különbség jön létre, ennek a jelenségnek a feltárása viszont túlmutat a jelenlegi dolgozat keretein, mert feltehetően áramlástan vizsgálatokat kellene véghezvinni a vizsgálatok teljes körű ellenőrzéséhez.

A nyírási szilárdság vizsgálatból az is kiderült, hogy az általam használt nagy hőkapacitás ilyen téren nincs befolyással a 0603-as és 0805-ös méretű alkatrészekre.

A kísérletek során nem sikerült bizonyítani a gőzfázisú forrasztásnál fellépő árnyékolási jelenséget. Ennek ellenére továbbra sem lehet azt állítani, hogy nem létezik, mivel időről időre továbbra is előfordulnak erre a jelenségre utaló forrasztási hibák a gőzfázisú kemencék használata alatt, amelyek feltehetően nem a paszta felvitel és alkatrészbeültetésből származnak.

A jelenség vizsgálatához további kísérletek végzését tartom szükségesnek. Eddigi munkámban arra törekedtem, hogy szélsőséges eseteket állítsak össze, a kis és nagyméretű alkatrészek vizsgálatával, de általános gyártási beállításokkal. Egy megközelítés lehet, hogy nem az alkatrészek méretéből adódó kölcsönhatásban kell gondolni, hanem valami más irányból kell megközelíteni. Ilyen lehet a gőz kondenzációja és annak a panelon történő áramlása, ahogy fentebb is említettem.

Egy másik elgondolás, hogy továbbra is az eredeti elképzelést követve egy még szélsőségesebb hőkapacitással rendelkező alkatrészt választok, ami a felületszerelt alkatrészek csoportjába tartozik, de nem feltétlenül a kétpólusú egyszerű passzív csoportosítás szerint. Ilyen alkatrészeket a teljesítményelektronikai eszközök között érdemes keresni (pl.: SM transzformátor). Ajánlatos lehet a paraméterteret kiszélesíteni különböző méretű ellenállásokkal a kis alkatrészek vonatkozásában, úgy mint 0805, 0603 és 0402. A vizsgálatokat érdemes lehet a kemence maximális teljesítményére kiszélesíteni. Az alkatrészek esetleges huzalozása is hatással lehet a jelenségre.

Egy harmadik, az eddigiekhez képest teljesen új gondolat, hogy különböző méretű réztömböket rakunk a panelre. Ezekhez a réz tömbökhöz huzalozással kapcsoljuk az ellenállások egyik kivezetését. Mivel a réz gyorsan melegszik meghatározható lesz az a tömbméret, ami már eredményezheti a hibát. Ez a módszer feltehetően a hiba jelenségére jobban rávilágít, azonban a valós körülményektől távolabbi vizsgálati rendszer felállítását feltételezi.

Irodalomjegyzék

- [1] Rudolf Strauss, SMT Soldering Handbook, Newnes 1998.
- [2] Ning-Cheng Lee, Reflow Soldering Processes and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies, BH Newnes, 2002.
- [3] RoHS Directive: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065&from=EN> elérés: 2018.10.24.
- [4] Kemet: Film Surface Mount Capacitors:General Purpose and High Stability – F161 Series Encapsulated Stacked, Size 2220 – 6560, 50 – 400 VDC (adatlap)
- [5] *Helmut Leicht, Andreas Thumm*: Today's Vapor Phase Soldering – An Optimized Reflow Technology for Lead Free Soldering, SMTAI Conference, Orlando,
- [6] Galden® PFPE | Solvay: <https://www.solvay.com/en/products/brands/galden-pfpe> 2018.9.20
- [7] *Műszaki hőtan, Digitális Tankönyvtár*
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_42_muszaki_hotan/ch05s02.html, elérés: 2017. 11. 09.
- [8] *Galden* <https://www.solvay.com/en/markets-and-products/featured-products/Galden.html>, elérés: 2017. 11. 13.
- [9] *Fazekas László*: Gőzfázisú forrasztás kondenzátumának hőátadási vizsgálata különböző anyagú hordozókon, Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat 2016
- [10] PET tulajdonságai: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2047> elérés: 2018.10.10.
- [11] Al₂O₃ tulajdonságai: <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=52> elérés: 2018.10.10.
- [12] B Illés, A Géczy, O Krammer, K Dušek, D Bušek, Numerical investigation on the effect of condensate layer formation around large-size components during vapour phase soldering, International Journal of Heat and Mass Transfer 2018.125: pp. 202-209.