



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikai Technológia Tanszék

FELÜLETSZERELT PASSZÍV ALKATRÉSZEK
FORRASZTÁSÁNAK MODELLEZÉSE ÉS A KÖTÉSEK
MECHANIKAI VIZSGÁLATA

PHD TÉZISFÜZET

Krammer Olivér

Tanszékvezető: Dr. Harsányi Gábor egyetemi tanár
Témavezető: Dr. Illyefalvi-Vitéz Zsolt egyetemi docens

BUDAPEST
2010

A kutatás előzménye

Az elektronikus áramkörök összeszerelésekor az alkatrészek mechanikai rögzítésére és azok villamos bekötésére a leggyakrabban alkalmazott forrasztási technológia az újraömlesztéses forrasztás, ahol a forrasztóanyag megjelenési formája a forrasztáspaszta, amely forrasztótvözetet és folyasztószert tartalmazó szuszpenzió. A forrasztáspasztát a tömeggyártásban fém sablonon keresztül stencilnyomtatással viszik fel a szerelőlemezre. Ezen a fém sablonon az ablakok (apertúrák) pontosan a szerelőlemez kontaktusfelületeinek megfelelően vannak kialakítva. Az újraömlesztéses forrasztási technológia második lépése az alkatrészek beültetése a szerelőlemezre, míg a harmadik lépés a forrasztáspasztában lévő forrasztótvözet felmelegítése, és megömlesztése hő közlésével. A hő közlésére a tömeggyártásban elterjedten kényszerkonvekciós alagútkemencéket alkalmaznak.

A felületszerelési technológia rohamos fejlődésével a passzív diszkrét alkatrészek (ellenállások, kondenzátorok) egyre kisebb méretűek lettek, és az integrált áramköri tokok kivezetéseinek távolsága is hasonló mértékben csökkent. Ez a tendencia komoly kihívások elé állítja a gyártósori automata berendezéseket. Az alkatrészeket beültető gépek és a szerelt áramkörök beültetési pontosságának vizsgálata egyre nagyobb hangsúlyt kap. Ez azért vált szükségessé, mert a csökkenő alkatrészméret a beültetési sebesség megtartása mellett romló relatív beültetési pontossághoz vezet. Ezért felmerül a kérdés, hogy az alkatrészek pozícióhibája milyen hatással van azok forrasztott kötéseinek megbízhatóságára. Tapasztalati tény, hogy a beültetőgép okozta alkatrész pozícióhibát kiküszöbölheti az a jelenség, hogy a forrasztás közben, a megolvadt forrasztóanyag felületi feszültségének köszönhetően, az alkatrészek bizonyos mértékben helyrehúzódhatnak. A helyrehúzódás jelenségének azonban feltétele, hogy a szerelőlemez kontaktusfelületein a stencilnyomtatással felvitt forrasztáspaszta mennyisége (térfogata) és alakja az optimálisra tervezett apertúraméretnek megfelelően. A korszerű elektronikus áramkörök minőségének és megbízhatóságának javítása érdekében a fent említett folyamatok és hatások elemzése nagy jelentőséggel bír, ezért választottam témaként a kisméretű felületszerelt alkatrészek forrasztott kötéseinek vizsgálatát és modellezését.

A szakirodalom áttekintése alapján megállapítottam, hogy az előbbieken említett jelenségeket a kisméretű passzív diszkrét alkatrészek esetén csak hiányosan, nagy elhanyagolásokkal élve vizsgálták, ezért a felületszerelt alkatrészek különböző tokozási típusai közül a passzív kisméretű (hasáb alakú) alkatrészekre fordítottam különös figyelmet.

A kutatási terület egyes megoldandó problémái

A forrasztóvözetek mechanikai szilárdságát alapvetően a szakító- és nyírási szilárdságukkal jellemzik. Abban az esetben, ha tömbi mintát mérnek, akkor az egzaktul meghatározható szakító szilárdsággal jellemzik a forrasztóvözet mechanikai tulajdonságait [1], míg komplexebb struktúrák (valós forrasztott kötések) esetén csak a nyírási szilárdság mérése végezhető el [2,3]. Azokban az esetekben, amikor a forrasztott kötés kötési felületének a meghatározása nehézkes, vagy lehetetlen, a nyírási szilárdságot a kötés töréséhez szükséges maximális erővel jellemzik, a maximális feszültség helyett, pl. a kisméretű passzív alkatrészekenél is [4,5]. Ez a jellemzés azonban több problémát is felvet. Egyrészt a különböző alkatrész méretek, és különböző kontaktusfelület topológiák miatt az eredmények nem összehasonlíthatóak. Másrészt abban az esetben, ha az alkatrész forrasztás után pozícióhibásak, akkor a kötési felület nem csak a kontaktusfelület topológiájától és a forrasztóanyag térfogatától függ, hanem a pozícióhiba mértékétől is. A pozícióhiba hatását a forrasztott kötés mechanikai szilárdságára idáig nem kutatták.

Az alkatrész forrasztás közbeni mozgásának vizsgálata a felületszerelési technológia megjelenésekor a nagyobb méretű passzív diszkrét, jellemzően a 1206¹ méretkódú (3 x 1,5 mm) alkatrészeken korlátozódott. Ezek a modellek kétdimenziósak voltak, és főleg a sírköképződés (amely során az alkatrész egyik vége elemelkedik a szerelőlemeztől) vizsgálatára irányultak. Az alkatrész hossz tengelyével párhuzamos mozgás vizsgálható volt ezen modellekkel, viszont az alkatrész hossz tengelyére merőleges irányú mozgás nem [6,7]. A felületszerelt kisméretű passzív diszkrét alkatrészeken mellett hamar megjelentek a bonyolultabb tokozási formájú felületszerelt integrált áramkörök, mint pl. a QFP (Quad Flat Pack – négyzetes lapos tok) és BGA (Ball Grid Array – golyószerű kivezetések az alkatrész alján egy háló rácspontjaiban elhelyezve) tokozású alkatrészeken. Ezzel együtt a vizsgálatok középpontjába kerültek az ilyen tokozású alkatrészeken, és képezik még ma is a kutatások középpontját. [8,9] Ugyanakkor a felületszerelt passzív diszkrét alkatrészeken méretének csökkenésével együtt jár a beültetőgépek pontatlanságából eredő relatív pozícióhiba növekedése, ami szükségessé teszi az alkatrészeken forrasztás közbeni mozgásának újszerű, részletesebb vizsgálatát.

Az alkatrész méretek csökkenése a stencilnyomtatási folyamat vizsgálatát is szükségessé tette. A jelenlegi kutatások ezen a területen is a sok kivezetéssel, illetve a finom osztástávolságú kivezetőkkel rendelkező alkatrész tokokhoz tartozó

¹ Az értekezésemben az ipari szokásoknak megfelelően az angolszász méretkódot alkalmazom a kisméretű passzív diszkrét alkatrészeken dimenzióinak jelölésére a méretek metrikus megadásával

stenciltopológiák vizsgálatát helyezik előtérbe [10]. Ezzel együtt vizsgálják még a forraszpaszta tulajdonságainak, illetve a nyomtatókés tulajdonságainak hatását a stencilnyomtatással készített nyomat minőségére [11,12].

A kisméretű passzív diszkrét alkatrészek esetében mind a helyrehúzódnásra, mind a forrasztott kötések mechanikai szilárdságára hatással van a felvitt forraszpaszta térfogata. Abban az esetben, ha a nyomtatás közben a stencil illeszkedése a szerelőlemezhez nem tökéletes, a felvitt forraszpaszta térfogata nagyobb lehet a tervezettnél, akár aszimmetrikusan az alkatrész egyik oldalánál. Ez a forrasztás közben alkatrészelcsúszáshoz vezethet, amennyiben az alkatrész két oldalánál a megömlött forrasz felületi feszültségéből származó erők nincsenek egyensúlyban. Ezenkívül a megnövekedett forraszpaszta-térfogat forraszrövidzárok kialakulásához is vezethet a finom osztástávolságú kivezetőkkel rendelkező alkatrészeknél.

A stencilfólia illeszkedési hibáját okozhatják a szerelőlemez felületén lévő szintkülönbségek, mint pl. a forrasztásgátló lakkal bevont vezetősávok, vagy az azonosítás céljára szolgáló öntapadó fóliák. Amennyiben ezek a szintkülönbségek nem túl nagyok, illetve kellően távol vannak a forrasztási felületektől, akkor a stencilfólia nyomtatás közben rá tud simulni a szerelőlemezre, és így a nyomtatott paszta térfogata megegyezik a tervezettel. Hasonló témakörben az IPC-7525 szabvány írja elő a lépcsős stencilek alkalmazásánál azt, hogy a lépcsőtől milyen távol kell lennie minimum a forrasztási felületekhez tartozó stencilapertúráknak ahhoz, hogy a stencil szintkülönbsége ne okozzon nyomtatási hibát. A szabványban leírt összefüggés azonban csak durva közelítés², mert nem veszi figyelembe pl. a stencilfólia vastagságát, ami hatással van annak deformációjára. A szerelőlemez szintkülönbségeinek hatását a stencilnyomtatás minőségére, illetve a stencilek nyomtatás közbeni deformációját idáig nem tanulmányozták.

² Minimális távolság a stencil lépcsőmagasságának 36-szorosa

Célkitűzés, kutatás módszerei

Áttekintve a fenti kutatási területek főbb hiányosságait és nyitott kérdéseit, az alábbi célokat tűztem ki kutatásaimnak:

- olyan mérési módszer kidolgozását, mellyel a pozícióhibás felületszerelt kisméretű passzív diszkrét alkatrészek forrasztott kötéseinek nyírási szilárdságát feszültséggel tudom jellemezni a terhelő erő helyett,
- a nyírási szilárdság pozícióhiba-függésének meghatározását,
- a felületszerelt kisméretű passzív diszkrét alkatrészek újraömlesztéses forrasztás közbeni mozgásának kutatását,
- olyan mérési módszer kidolgozását, mellyel vizsgálható a szerelőlemez szintkülönbségeinek hatása a stencilnyomtatás minőségére,
- tervezési irányelv ajánlását, melynek betartásával kiküszöbölhető a szerelőlemez szintkülönbségeinek hatása a stencilnyomtatással felvitt forraszpaszta térfogatára.

A kutatásaim közül elsőként a pozícióhibás alkatrészek forrasztott kötéseinek vizsgálatához a kísérleti lemezeimre referenciaábrákat terveztem. Az alkatrészek pozícióhibáit optikai mikroszkóppal mértem, melynek felbontóképessége esetemben $4\ \mu\text{m}$. A forraszprofil háromdimenziós számítását erre a célra fejlesztett, ingyenesen hozzáférhető programmal végeztem, mely a folyadékok energiaminimumra törekvésének elve alapján számítja az alakot: a felületi feszültségből és a gravitációból származó energiát minimalizálja. A forraszprofil háromdimenziós számításához a bemeneti paramétereket valós forrasztott kötések keresztmetszeti csiszolatának méréséből nyertem, ezután a számítások helyességét a pozícióhibás alkatrészek esetére ugyancsak keresztmetszeti csiszolatok elemzésével ellenőriztem. A forrasztott kötések nyírási terhelését erre a célra fejlesztett ipari mérőberendezéssel végeztem, a terhelés sebessége az ipari alkalmazásoknak megfelelően $100\ \mu\text{m/s}$ volt. A forrasztott kötések mechanikai szimulációjához a bemeneti anyagparamétereket irodalomból, a forrasztott kötések alakját pedig háromdimenziós profilszámításból nyertem. A stencilek deformációjának méréséhez, ami a szimulációk bemeneti paramétereit szolgáltatja, saját mérőeszközt készítettem. A mérőeszközzel mérlegkaron keresztül különböző súlyokkal terheltem a stencilt, illetve a nyomtatókést. A stencilek deformációját, illetve a nyomtatókés elhajlását mikrométer órával mértem, melynek felbontóképessége $10\ \mu\text{m}$. A deformációs mérések átlagos szórása $50\ \mu\text{m}$ volt a $0\text{--}2\ \text{mm}$ -es mérési tartományon. A stencil mechanikai szimulációját végesem módszerem alapuló modellel végeztem, melynek bemeneti anyagparamétereit a mérési eredményekből nyertem.

Új tudományos eredmények

I. Téziscsoport: Felületszerelt passzív diszkrét alkatrészek forrasztott kötéseinek mechanikai vizsgálata

I/1. tézis: Módszert dolgoztam ki, mellyel a passzív kisméretű alkatrészek forrasztott kötéseinek nyírási szilárdsága a terhelő erő helyett az átlagfeszültséggel jellemezhető.

A forrasztott kötésben a nyírási terhelés hatására a törés pillanatában fellépő átlagfeszültség meghatározásához két adat szükséges, a maximális terhelőerő, ami a töréshez szükséges, és a kötési felület, amelyen keresztül a forrasztott kötés csatlakozik az alkatrészttest fémezéséhez. Módszerem lényege, hogy az ilyen esetekben nehezen meghatározható kötési felületet háromdimenziós profilszámítással határozom meg, mely a megolvadt forraszfém belső energiájának minimalizálásán alapszik. A kötési felület elsősorban a forrasztóanyag térfogatától, a forrasztásban részt vevő fémek anyagi jellemzőitől és az alkatrész pozíciójától függ. A forrasztóanyag térfogata és az anyagi jellemzők ismertek, viszont az alkatrész pozíciója függ a beültetés pontosságától. Ezért a kötési felület meghatározásához mértem az alkatrész forrasztás utáni pozícióját. A módszerem alkalmazásával meghatározható a pozícióhibás diszkrét felületszerelt alkatrészek kötéseinek nyírási szilárdsága, illetve a különböző méretű és formájú alkatrészekkel végzett kísérletek összehasonlíthatóvá válnak.

A tézisonthoz kapcsolódó publikációk: L1, R3, K1, K2

I/2. tézis: Kísérlettel, és számítógépes szimulációval bizonyítottam, hogy a chip alkatrészek forrasztott kötéseiben a nyírási terhelés hatására a pozícióhiba növekedésével növekvő feszültség alakul ki.

A pozícióhibás alkatrészek forrasztott kötéseinek nyírási szilárdságát az I/1. pontban ismertetett módszerrel határoztam meg. A méréshez kísérleti lemezt terveztem, melyre 90 db 0603 méretkódú (1,5 x 0,75 mm) felületszerelt kisméretű diszkrét ellenállás ültethető be. A kísérleti lemez hordozója 1,5 mm vastag, FR4 osztályú, üvegszálalás epoxigyanta. A forrasztási felületek 35 µm vastagságú réz rétegből készültek, melyek bevonata 0,1–0,2 µm vastagságú, immerziós eljárással felvitt ezüst. Az ellenállásokat beültetőautomata segítségével szándékosan pozícióhibásan ültettem be, úgy, hogy előzetesen még hőre keményedő ragasztót is adagoltam az alkatrészek pozíciójához. A ragasztófelvitel célja, hogy kikeményítés után, az alkatrészt rögzítse a forrasztás idejére, az ne mozduljon el a megömlött

forrasz felületi feszültségének hatására. A szándékos pozícióhiba mértéke 0–250 μm . A kísérleti lemezre a forrasztási felülettel megegyező rézrétegre mérőábrát terveztem, melynek segítségével megmértem az alkatrészek forrasztás utáni pozícióját. A maximális nyírási terhelés mérését előzetes kísérlettel meghatározott emelt hőmérsékleten (90 °C) végeztem annak érdekében, hogy az alkatrészeket rögzítő hőre keményedő ragasztó ne befolyásolja a mérési eredményeket. A mérési eredmények alapján megállapítottam, hogy a pozícióhibás alkatrészek forrasztott kötéseinek nyírási szilárdsága jelentősen csökken a jó pozícióba ültetett alkatrészek forrasztott kötéseinek nyírási szilárdságához képest; 250 μm -es pozícióhiba esetén 26 MPa-ról a pozícióhiba irányától függően 12-17 MPa-ra.

A kísérlet eredményeit végeelem modellel is alátámasztottam. A méréshez kiszámított háromdimenziós forraszprofilokat FEM (Finite Element Method) modellbe illesztettem. A végeelem modellel meghatároztam a forraszalak elmozdulását a maximális nyírási erő hatására arra az esetre, amikor az alkatrész pontosan a számára kijelölt pozícióban van. Ezután kiszámítottam a forraszban a fenti elmozdulás hatására létrejövő feszültséget különböző mértékű pozícióhibák esetére. A szimulációs eredmények alapján a forraszban azonos terhelésre létrejövő nyírási feszültség jelentősen nő a pozícióhiba mértékének függvényében; 250 μm -es pozícióhiba esetén 35 MPa-ról 68 MPa-ra.

A tézisonthoz kapcsolódó publikációk: L1, R3, K1

II. Téziscsoport: Felületszerelt passzív diszkrét alkatrészek újraömlesztéses forrasztás közbeni mozgásának vizsgálata

II/1. tézis: Háromdimenziós elméleti modellt alkottam, melynek felhasználásával számítógépes szimulációval bizonyítottam, hogy a kisméretű ellenállások hossz tengelyükkel párhuzamos irányú öngazodási képessége kisebb mértékű, mint az erre merőleges irányú öngazodási képessége; ezt a jelenséget kísérlettel is igazoltam.

A méréshez az I/2. tézisben ismertetett kísérleti lemezt alkalmaztam. A 0603 méretkódú kisméretű passzív diszkrét ellenállásokat itt is szándékosan rossz pozícióba ültettem be az automatával. Az alkatrészek pozícióját optikai mikroszkóppal mértem forrasztás előtt és forrasztás után is. A mérési eredmények alapján megállapítottam, hogy az alkatrészek öngazodása azok hossz tengelyére párhuzamosan kisebb, mint azok hossz tengelyére merőlegesen; pl. 300 μm pozícióhiba esetén a forrasztás közben megtett út mértéke esetemben az alkatrész

hossztengelyére párhuzamosan 170 μm , míg annak hossztenyelyére merőlegesen 240 μm .

Ennek elméleti magyarázata, hogy az alkatrész hossztenyelyére merőleges önigazodását az olvadt forrasztanyag felületi feszültségéből származó erők alkatrész hossztenyelyére merőleges komponensei az alkatrész mindkét oldalán segítik. Ezzel szemben az alkatrész hossztenyelyével párhuzamos irányú önigazodását az alkatrészfémezés homlokfalára ható hidrosztatikai és kapilláris nyomásból illetve a felületi feszültségnek az alkatrész hossztenyelyével párhuzamos irányú komponenséből származó erők eredményezik. Ebben az esetben a rosszabb önigazodási képesség magyarázata, hogy az alkatrész két homlokfalán lévő fémezésre ható erők egymással ellentétes irányúak, és csak a különbségük mozgatja az alkatrészt a hossztenyelyével párhuzamosan.

A tézisponthoz kapcsolódó publikációk: L2, R3, R4, R5

II/2. tézis: II/1. szerinti modellel, mérésekkel és szimulációkkal bizonyítottam, hogy az alkatrészek azok hossztenyelyével párhuzamos önigazodása javítható, ha az alkatrész forrasztható fémezése az alkatrész oldalán is jelen van, nem csak az alján, a tetején és a homlokfalán.

A méréshez az I/2. tézisben ismerttetett kísérleti lemezt alkalmaztam. A kereskedelemben kapható kisméretű passzív diszkrét alkatrészek esetében a kondenzátorok teste rendelkezik fémezéssel az oldalfalán is, így az elmélet bizonyítására a kísérleti lemeze ellenállásokat (fémezés csak az alján, a tetején és a homlokfalon van jelen) és kondenzátorokat is ültettem be. Mindkét alkatrész esetében mértem a forrasztás előtti és a forrasztás utáni pozíciót. A kondenzátorok tömegüket tekintve nehezebbek az ellenállásoknál, ezért az eredményeimet súlyoztam az alkatrészek tömegével is. Így az eredmények mértékegysége $\mu\text{m}\cdot\text{mg}$. Az eredményeket tekintve megállapítható, hogy abban az esetben, ha az alkatrészek pozícióhibája az alkatrész hossztenyelyével párhuzamos, akkor a kondenzátorok önigazodási képessége jelentősen nagyobb, pl. 370 μm -es pozícióhiba esetén az ellenállások esetében 420 $\mu\text{m}\cdot\text{mg}$, míg a kondenzátorok esetében 1300 $\mu\text{m}\cdot\text{mg}$.

A jelenség elméleti magyarázata, hogy ha az alkatrész oldalfalán is van fémezés, akkor ott a felületi feszültségéből származó erő érintkezési szöge függ az alkatrész annak hossztenyelyével párhuzamos irányú elcsúszásától. Az alkatrész növekvő pozícióhibájának függvényében egyre inkább az alkatrész középpontja felé mutat a felületi feszültségéből származó erő vektora, ami segíti az alkatrész önigazodását.

A tézisponthoz kapcsolódó publikációk: L2, R3

III. Téziscsoport: A szerelőlemez felszínén lévő szintkülönbségek hatása a stencilnyomtatással készített pasztalenyomat minőségére

III/1. tézis: Módszert dolgoztam ki, mellyel vizsgálható az áramköri szerelőlemez szintkülönbségeinek hatása a stencilnyomtatott forraszpasztá magasságára és területére.

Módszerem lényege, hogy az iparban alkalmazott szerelőlemezek lehetséges szintkülönbségeinek szimulálására olyan vizsgálóábrát hoztam létre, ahol forrasztási felületek közvetlen közelében jól meghatározott, galvanizálással megvastagított felületek helyezkednek el. Három, különböző vastagságú galvanizált felületekkel rendelkező lemezt terveztem, amelyeken ezen felületek vastagsága a forrasztási felületekhez képest +25, +55, +90 μm . A nyomtatott paszta magasságát 3D-s pasztavizsgáló berendezéssel mértem, melynek elvi felbontóképessége 1 μm , míg a felvitt paszta területét optikai mikroszkópiával készült felvételeken mértem.

A kísérletek alapján megállapítható, hogy a felvitt paszta területe jelentősen nő abban az esetben, hogyha a nyomtatás közben a stencil nem illeszkedik a szerelőlemezhez; pl. 90 μm illeszkedési hiba esetén a felvitt paszta területe stencil apertúra területével megegyező 0,25 mm^2 -ről 0,41 mm^2 -re nő.

A mérési eredmények alapján megállapítható még egyrészt, hogy a felvitt paszta magassága megegyezik a stencilfólia vastagságának (150 μm) és a szerelőlemezen lévő szintkülönbségnek az összegével abban az esetben, ha a vezetópálya nagyon közel van a forrasztási felülethez (0,3–3 mm). Másrészt a stencil rásimul a forrasztási felületre, és a felvitt paszta magassága megegyezik a stencilfólia vastagságával abban az esetben, ha a szintkülönbség kellően távol van a forrasztási felülettől (6–12 mm).

A tézisonthoz kapcsolódó publikációk: R1, R2

III/2. tézis: Számítógépes szimuláció segítségével meghatároztam különböző stencilfólia vastagságokhoz (75-175 μm) a forrasztási felületek és a szerelőlemez szintkülönbségei között szükséges minimális távolságot ahhoz, hogy a stencil nyomtatás közben teljesen rásimuljon a forrasztási felületekre. A minimális távolság a szintkülönbség 0–60 μm -es tartományában: $C \cdot d \cdot h$ (C – konstans: 1,6 [$1/\mu\text{m}$], d – stencil fólia vastagsága, h – szintkülönbség mértéke).

A vizsgálathoz végeelem modellt készítettem, melyhez a stencilfólia és a nyomtatókés rugalmassági paramétereit deformációs méréssel határoztam meg. A méréshez saját eszközt készítettem, mely alkalmas a stencilfólia és a nyomtatókés deformációjának vizsgálatára különböző terhelések esetére. A végeelem modellt a

III/1.-es tézis kísérleti eredményeinek számítógépes szimulációjával ellenőriztem. Ezután a modellbe beillesztettem különböző a szerelőlemezre vonatkozó szintkülönbségeket (0–90 μm), és számítógépes szimulációkat futattam különböző stencilfólia vastagságok esetére (75–175 μm). A számítógépes szimulációk eredménye alapján a szintkülönbség 0–60 μm -es tartományában a szükséges távolság ahhoz, hogy a stencil rá tudjon simulni a forrasztási felületre: $1,6 \cdot d \cdot h$ (d – stencil fólia vastagsága, h – szintkülönbség mértéke). A szimuláció határfeltételeit figyelembe véve a legnagyobb minimális távolság a 90 μm -es szintkülönbség és a 175 μm -es stencilfólia vastagság esetére 31 mm.

A tézisponthoz kapcsolódó publikációk: R2

Az eredmények hasznosulása

Az **I/1. tézisben** ismertetett mérési módszert a Continental Temic Hungary Kft autóelektronikai gyártó cég megrendelésére fejlesztettem ki. A mérési módszerrel a felületszerelt ellenállások forrasztott kötéseinek pontosabb mechanikai minősítésével a gyártási folyamatokat is pontosabban tudják szabályozni. Bármilyen kis eltérés esetén a gyártási folyamatokba azonnal be tudnak avatkozni.

Az **I/2. tézis** eredményei alapján az elektronikai gyártócégek elfogadási határt tudnak szabni a felületszerelt kisméretű alkatrészek forrasztás utáni pozícióhibájára annak függvényében, hogy számukra még mi az elfogadható nyírési szilárdság ezen alkatrészek forrasztott kötéseit illetően. Szokásos elfogadási határ a nyírési szilárdság optimális értékének 80%-a.

Az **I. téziscsoport** tudományos hasznosulása, hogy módszerem felhasználásával bármilyen további a felületszerelt passzív diszkrét alkatrészek forrasztott kötéseinek mechanikai vizsgálatára irányuló kísérletnél a különböző méretű alkatrészekre vonatkozó eredmények összehasonlíthatóvá válnak.

A **II. téziscsoport** eredményeit felhasználva az alkatrészek forrasztás előtti pozícióhibáját illetően tudnak elfogadási határt szabni az elektronikai gyártók, ismerve, hogy pl. a 0603-as méretkódú alkatrészek várhatóan mennyire igazodnak jó pozícióba az újraömllesztéses forrasztás közben. Az eredmények közvetlenül hasznosultak az ólommentes forrasztási technológia bevezetésének megkönnyítését megcélzó, sikeresen záródó Leadout FP6 EU projektben.

A **III. téziscsoport** eredményeit a Bosch autóelektronikai gyártó cég németországi kutatóközpontja hasznosítja. Az áramköri szerelőlemezek tervezésekor alkalmazott irányelvek közé illesztik be a minimum technológiai távolságot, amit tartani kell a finom rászterosztású felületszerelt elektronikai alkatrészek forrasztási felületei és a szerelőlemezen lévő szintkülönbséget okozó mintázatok között. Ezenkívül a III. téziscsoport eredménye iránymutatást ad arra az esetre, ha az elektronikus áramkör nagyfokú integráltsága miatt ez a távolság nem tartható be, akkor a stencil-apertúra tervezésénél milyen mértékben kell annak térfogatát csökkenteni.

Publikációk listája

Tézispontokhoz kapcsolódó publikációk

Lektorált, idegen nyelvű, külföldön megjelent folyóiratcikk

- [L1] **O. Krammer**, B. Sinkovics: „Improved method for determining the shear strength of chip component solder joints”, *Microelectronics Reliability*, Vol. 50, Issue 2, 2010. február, 235-241. o.

Lektorált, idegen nyelvű, Magyarországon megjelent folyóiratcikk

- [L2] **O. Krammer**, Zs. Illyefalvi-Vitéz: „Investigating the Self-alignment of Chip Components during Reflow Soldering”, *Periodica Polytechnica- Electrical Engineering*, Vol. 52 (2008), Issue 1-2, 67-75. o.

Referált, idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás

- [R1] **O. Krammer**, L.M. Molnar, L. Jakab, C. Klein: „Investigating the Increment of Deposited Solder Paste due to Uneven PCB Surface”, *33rd International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2010*, Warsaw, Lengyelország, 2010.05.12-2010.05.16., &-&. o.
- [R2] **O. Krammer**, L.M. Molnar, L. Jakab, C. Klein: „Stencil Deformation during Stencil Printing”, *15th International Symposium for Design and Technology of Electronics, IEEE-SIITME2009*, Gyula, Magyarország, 2009.09.17-2009.09.20., 179-184. o.
- [R3] **O. Krammer**, Z. Radvánszki, Zs. Illyefalvi-Vitéz: „Investigating the Movement of Chip Components during Reflow Soldering”, *2nd Electronics Systemintegration Technology Conference, IEEE-ESTC2008*, Greenwich, Anglia, 2008.09.01-2008.09.04., 851-856. o.
- [R4] **O. Krammer**, B. Sinkovics, B. Illés: „Studying the Dynamic Behaviour of Chip Components during Reflow Soldering”, *30th International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2007*, Cluj-Napoca, Románia, 2007.05.09-2007.05.13., 18-23. o.
- [R5] **O. Krammer**, B. Sinkovics, B. Illés: „Predicting Component Self-Alignment in Lead-Free Reflow Soldering Technology by Virtue of Force Model”, *1st Electronics Systemintegration Technology Conference, IEEE-ESTC2006*, Drezda, Németország, 2006.09.05-2006.09.07., 617-623. o.

Idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás

- [K1] **O. Krammer**, Zs. Illyefalvi-Vitéz: „Investigating the shear strength of chip component solder joints”, *14th International Symposium for Design and Technology of Electronic Package, SIITME2008*, Brasov, Románia, 2008.09.18-2008.09.21., 301-305. o.
- [K2] **O. Krammer**, B. Sinkovics: „Investigation of the influence of surface mounted chip component misalignment on solder joint reliability”, *International microelectronics and packaging conference, IMAPS2007*, Rzeszow, Lengyelország, 2007.09.23-2007.09.26., &-& o.

Egyéb publikációk

Könyvrészlet

- [T1] B. Balogh, R. Berényi, L. Gál, P. Gordon, I. Hajdú, G. Harsányi, B. Illés, Zs. Illyefalvi-Vitéz, **O. Krammer**, J. Pinkola: „Elektronikai Technológia Laboratórium - Segédlet az Elektronikai technológia (BMEVIETA302) tárgyhoz”, azonosító: 55082, 2007, 40. o.
- [T2] B. Balogh, R. Berényi, L. Gál, P. Gordon, I. Hajdú, G. Harsányi, B. Illés, Zs. Illyefalvi-Vitéz, **O. Krammer**, J. Pinkola: „Electronics Technology Laboratories-Syllabus for Electronics Technology (BMEVIETA302), Identification number: 55083, 2007, 40. o.

Lektorált, idegen nyelvű, külföldön megjelent folyóiratcikk

- [L3] B. Sinkovics, **O. Krammer**: „Board level investigation of BGA solder joint deformation strength”, *Microelectronics Reliability*, Vol. 49, Issue 6, 2009. június, 573-578. o.

Lektorált, idegen nyelvű, Magyarországon megjelent folyóiratcikk

- [L4] M. Janóczki, Z. Radvánszki, L. Jakab, **O. Krammer**: „X-ray Imaging in Pin-in-Paste Technology”, *Periodica Polytechnica- Electrical Engineering*, Vol. 52 (2008), Issue 1-2, 21-29. o.

Referált, idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás

- [R6] **O. Krammer**, I. Kobolák, L.M. Molnár: „Method for selective solder paste application for BGA rework”, *31st International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2008*, Budapest, Magyarország, 2008.05.07-2008.05.11., 432-436. o.
- [R7] B. Illés B, **O. Krammer**, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz, A. Szabó: „3D Investigations of the Internal Convection Coefficient and Homogeneity in Reflow Ovens”, *30th International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2007*, Cluj-Napoca, Románia, 2007.05.09-2007.05.13., 320-325. o.

- [R8] **O. Krammer**, B. Illés: „Lead-Free Soldering Technology Review - Evaluating Solder Pastes and Stencils”, *29th International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2006*, St. Marienthal, Németország, 2006.05.10-2006.05.14., 86-91. o.
- [R9] Zs. Illyefalvi-Vitéz, **O. Krammer**, J. Pinkola: „Testing the Impact of Pb-free Soldering on Reliability”, *1st Electronics Systemintegration Technology Conference, IEEE-ESTC2006*, Drezda, Németország, 2006.09.05-2006.09.07., 468-472. o.
- [R10] B. Illés, **O. Krammer**, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz: „Modelling Heat Transfer Efficiency in Forced Convection Reflow Ovens”, *29th International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2006*, St. Marienthal, Németország, 2006.05.10-2006.05.14., 80-85. o.
- [R11] B. Illés, **O. Krammer**, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz, A. Szabó: „Effect of Component-Level Heat Conduction on Reflow Soldering Failures”, *1st Electronics Systemintegration Technology Conference, IEEE-ESTC2006*, Drezda, Németország, 2006.09.05-2006.09.07., 1386-1392. o.
- [R12] I. Hajdu, Zs. Kincses, **O. Krammer**: „Noise study method of soldering joints”, *29th International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2006*, St. Marienthal, Németország, 2006.05.10-2006.05.14., 296-298. o.
- [R13] **O. Krammer**: „The Effect of Lead-free Soldering on Formation of Black Pad Failure”, *28th International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE-ISSE2005*, Wiener Neustadt, Ausztria, 2005.05.19-2005.05.20., 191-195. o.

Idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás

- [K3] B. Sinkovics, **O. Krammer**, L. Jakab: „Experimental and numerical analysis of mechanical behavior of multilayer PWB assemblies”, *14th International Symposium for Design and Technology of Electronic Package, SIITME2008*, Brasov, Románia, 2008.09.18-2008.09.21., 345-349. o.
- [K4] **O. Krammer**, B. Sinkovics, Zs. Illyefalvi-Vitéz, L. Jakab, A. Szabó: „Board level investigation of BGA solder joint deformation strength”, *International microelectronics and packaging conference, IMAPS2008*, Pułusk, Lengyelország, 2008.09.21-2008.09.24., Paper 34., &-&. o.
- [K5] Zs. Illyefalvi-Vitéz, L. Gál, **O. Krammer**, J. Pinkola: „Via Fabrication Techniques for High Density Vertical Interconnections”, *16th European Microelectronics and Packaging Conference EMPC2007*, Oulu, Finnország, 2007.06.15-2007.06.17., 660-665. o.
- [K6] **O. Krammer**, A. Nyakó, B. Illés: „Measuring Methods of Solder Paste Hole Filling in Pin-in-Paste Technology”, *13th International Symposium for Design and Technology of Electronic Package, SIITME2007*, Baia Mare, Románia, 2007.09.20-2007.09.23., 146-150. o.

- [K7] Zs. Illyefalvi-Vitéz, **O. Krammer**, R. Bátorfi: „Experimental Life-time Prediction of Pb-free Solder Joints”, *13th International Symposium for Design and Technology of Electronic Package, SIITME2007*, Baia Mare, Románia, 2007.09.20-2007.09.23., 115-118. o.
- [K8] Zs. Illyefalvi-Vitéz, P. Németh, **O. Krammer**, J. Pinkola: „Comparison of Accelerated Life-time Test Methods of Pb-free Solder Joints”, *16th European Microelectronics and Packaging Conference, EMPC2007*, Oulu, Finnország, 2007.06.10-2007.06.12., 419-424. o.
- [K9] B. Illés, **O. Krammer**: „Variation of Gas Flow Parameters in Forced Convection Reflow Oven”, *13th International Symposium for Design and Technology of Electronic Package, SIITME2007*, Baia Mare, Románia, 2007.09.20-2007.09.23., 27-31. o.
- [K10] **O. Krammer**, B. Illés: „Comparative Study of Stencils for Advanced Lead-Free Reflow Soldering Technologies”, *12th International Symposium for Design and Technology of Electronic Package, SIITME2006*, Iasi, Románia, 2006.09.21-2006.09.24., 58-62. o.
- [K11] Zs. Illyefalvi-Vitéz, **O. Krammer**, J. Pinkola: „Soldering and Reliability Trials using Pb-free Solders”, *12th International Symposium for Design and Technology of Electronic Package, SIITME2006*, Iasi, Románia, 2006.09.21-2006.09.24., 44-48. o.
- [K12] Zs. Illyefalvi-Vitéz, **O. Krammer**, J. Pinkola, B. Riegel, N. Ruzsics, G. Juhász: „Lead-free Soldering Implementation Issues”, *4th European Microelectronics and Packaging Symposium, EMPS2006*, Terme Catez, Szlovénia, 2006.05.21-2006.05.24., 231-236. o.
- [K13] B. Illés, **O. Krammer**, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz, A. Szabó: „3D Thermodynamics Analysis Applied for Reflow Soldering Failure Prediction”, *4th European Microelectronics and Packaging Symposium, EMPS2006*, Terme Catez, Szlovénia, 2006.05.21-2006.05.24., 217-222. o.
- [K14] **O. Krammer**, B. Illés: „Reflow Soldering Optimization in Lead-Free Environment: Immersion silver finishes are an alternative for Electroless Nickel Immersion Gold finishes”, *11th International Symposium for Design and Technology of Electronic Packages, SIITME2005*, Cluj-Napoca, Románia, 2005.09.22-2005.09.25., 85-89. o.

Nem lektorált, magyar nyelvű, Magyarországon megjelent folyóiratcikk

- [M1] **Krammer O.**: „Az ólommentes forrasztás hatása a Black Pad kialakulására”, *Elektronet*, 2005. szeptember, 57-60. o.

Hivatkozott irodalom

- [1] K.S. Kim, S.H. Huh, K. Suganuma: „Effects of fourth alloying additive on microstructures and tensile properties of Sn–Ag–Cu alloy and joints with Cu”, *Microelectronics Reliability*, Vol. 43 (2003), 259–267. o.
- [2] M.N. Islam, Y.C. Chan, A. Sharif, M.O. Alam: „Comparative study of the dissolution kinetics of electrolytic Ni and electroless Ni–P by the molten Sn_{3.5}Ag_{0.5}Cu solder alloy”, *Microelectronics Reliability*, Vol. 43 (2003), 2031–2037. o.
- [3] Ming-Chih Yew, Chan-Yen Chou, Kuo-Ning Chiang: „Reliability assessment for solders with a stress buffer layer using ball shear strength test and board-level finite element analysis”, *Microelectronics Reliability*, Vol. 47 (2007), 1658–1662. o.
- [4] G.Y. Li and Y. C. Chan: „Aging Effects on Shear Fatigue Life and Shear Strength of Soldered Thick Film Joints” *IEEE Transaction on Components, Packaging, and Manufacturing Technology—Part B*, Vol. 21, No. 4, 1998. november, 398–406. o.
- [5] K.S. Kim, S.H. Huh, K. Suganuma: “Effects of intermetallic compounds on properties of Sn–Ag–Cu lead-free soldered joints”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 352 (2003), 226–236. o.
- [6] R. Wassink, M. Verguld: „Drawbridging of leadless components”, *Hybrid Circuits*, No. 9, 1986. január, 18–24. o.
- [7] J.R. Ellis, G.Y. Masada: „Dynamic Behavior of SMT Chip Capacitors During Solder Reflow”, *IEEE Transaction on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, Vol. 13, No. 3, 1990. szeptember, 545–552. o.
- [8] Y. Zhang, R. Zhao, D.K. Harris, R.W Johnson: „A Computational Study on Solder Bump Geometry, Normal, Restoring, and Fillet Forces During Solder Reflow in the Presence of Liquefied Underfill”, *IEEE Transaction on Electronics Packaging Manufacturing*, Vol. 25, No. 4, 2002. október, 308–317. o.
- [9] L. Hua, C. Bailey: „Dynamic Analysis of Flip-Chip Self-Alignment”, *IEEE Transaction on Advanced Packaging*, Vol. 28, No. 3, 2005. augusztus, 475–480. pp.
- [10] R.W. Kay, S. Stoyanov, G.P. Glinski, C. Bailey, M.P.Y. Desmulliez: „Ultra-Fine Pitch Stencil Printing for a Low Cost and Low Temperature Flip-Chip Assembly Process”, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, Vol. 30, No. 1, 2007. március, 129–136. o.
- [11] S.H. Mannan, N.N. Ekere, E.K. Lo, I. Ismail: „Predicting Scooping and Skipping in Solder Paste Printing for Reflow Soldering of SMT Devices” *Soldering & Surface Mount Technology*, Vol. 5, Issue 3, 1993, 14–17. o.
- [12] R. Durairaj, S. Ramesh, S. Mallik, A. Seman, N. Ekere: „Rheological characterisation and printing performance of Sn/Ag/Cu solder pastes” *Materials and Design*, Vol. 30 (2009), 3812–3818. o.