



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

**ANALÝZA METOD NANÁŠENÍ TAVIDEL A
PÁJECÍCH PAST NA DPS PRO BGA
KOMPONENTY**

ANALYSIS OF APPLICATION FLUX AND SOLDER PASTE ON PCB FOR BGA
COMPONENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

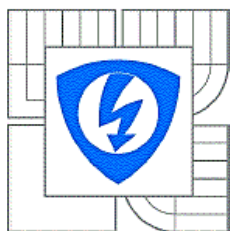
Bc. Michal Toufar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Vala

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Bc. Michal Toufar

ID: 146116

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/2016

NÁZEV TÉMATU:

Analýza metod nanášení tavidel a pájecích past na DPS pro BGA komponenty

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s různými druhy nanášení tavidel a pájecích past na desku plošného spoje pro BGA a FBGA komponenty v oblasti oprav. Vyberte některé z metod nanášení a otestujte. Zhodnoťte testované metody a vyberte nejvhodnější aplikaci pro proces výměny BGA komponent.

Daná problematika bude řešena ve spolupráci s firmou Sanmina.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Radek Vala

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Lukáš Fucík, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

V práci jsou popsány důvody rozvoje BGA pouzdra s problematikou opravy a výměny. Popisující defekty a chyby vznikající při procesu pájení. Aktuálním trendem vývoje tenkých pouzder s jemnou roztečí s osazovanými stále menšími kulovými kontakty. Kdy jsou popsány vlivy při různém nanášení tavidel a pájecí pasty v procesu výměny vadných BGA pouzder. Hlavní část práce se zaměřuje na dispenzování a dipping s následným vyhodnocením metod vhodných pro opravárenský proces.

KLÍČOVÁ SLOVA

BGA, namáčení, dispenzování, pájecí pasta, tavidlo

ABSTRACT

This thesis deals with rework of BGA components. There are described defects and errors in a solder joints. The current trend is focused on thin packages with fine pitch. It is assembled with smaller and smaller solder balls. It is described effect of different application of flux and solders paste for rework. The main part is focused on dipping and dispensing. These methods are suitable for repair process.

KEYWORDS

BGA, dipping, dispensing, solder past, flux

TOUFAR, M. *Analýza metod nanášení tavidel a pájecích past na DPS pro BGA komponenty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radek Vala.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení.

V Brně dne 30. listopadu 2015

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu Ing. Radku Valovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu. Dále velice děkuji ostatním pracovníkům firmy SANMINA, kteří mi věnovali svůj čas a znalosti pro zpracování některých kapitol práce.

V Brně dne 30. listopadu 2015

.....
podpis autora

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xii
Úvod	1
1 BGA pouzdra	2
2 Problematika výměny BGA	5
2.1 Čištění pájecí slitiny	6
2.2 Nanášení pájecí slitiny	7
2.2.1 Šablony pro BGA kuličky	8
2.2.2 Šablony pro pájecí pastu	9
2.2.3 Dispendování	10
2.3 Připojování BGA pouzdra na DPS	10
2.3.1 Pájení horkým vzduchem	11
2.3.2 Pájení IR (infračerveným zářením)	12
2.3.3 Pájení v parách	12
3 Defekty pájenného spoje s BGA komponenty	14
3.1 Voidy (dutiny ve vývodu)	14
3.2 Praskliny pájeného spoje	16
3.3 Head on Pillow	17
3.4 Zkraty	19
3.5 Delaminace substrátu	19
4 Experimentální část	22
4.1 Stávající řešení procesu	23
4.2 Dispenzování	28
4.2.1 Dispenzování tavidla	29

4.2.2	Vyhodnocení vzorku pro tavidlo α	30
4.2.3	Vyhodnocení vzorku pro tavidlo β	33
4.2.4	Dispenzování pájecí pasty	37
4.2.5	Vyhodnocení metody dispenzování	42
4.3	Dipping.....	43
4.3.1	Dipping provedený do tavidla.....	45
4.3.2	Vyhodnocení vzorku pro tavidlo α	46
4.3.3	Vyhodnocení vzorku pro tavidlo β	50
4.3.4	Vyhodnocení vzorku pro bezolovnatou pájecí pastu	54
4.3.5	Vyhodnocení metody dipping	58
4.4	Vyhodnocení a porovnání jednotlivých testovaných metod	59
	Závěr	61
	Literatura	62
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Případ propojení kontaktování drátkem[2].....	3
Obr. 2:	Případ propojení Flip Chip[2]	3
Obr. 3:	Princip bezkontaktní hubice pro čištění pájky[4].....	7
Obr. 4:	Dvoudílný přípravek pro BGA pouzdro s upevněnou šablonou [5]	8
Obr. 5:	Schématičký nákres pro šablonový tisk[7].....	9
Obr. 6:	Voidy řešení plochy[9].....	15
Obr. 7:	Rozložení voidu v pájeném spoji[9].....	15
Obr. 8:	Vyobrazení praskliny pájeného spoje[17].....	17
Obr. 9:	Nákres vzniku defektu nazývaného Head on Pillow[19]	18
Obr. 10:	Výbrus pájeného spoje na BGA s defektem Head on Pillow[20]	18
Obr. 11:	Rentgenový snímek zkratu pod BGA pouzdrem[21]	19
Obr. 12:	Nákres vzniku delaminace s vlivem na vznik můstku mezi spoji[22]	20
Obr. 13:	Rentgenový snímek zkratu (můstky) zapříčiněno delaminací pouzdra[23].....	21
Obr. 14:	Pracoviště se servisní stanicí PDR XT5P.....	23
Obr. 15:	Ruční aplikace tavidla na BGA komponent	24
Obr. 16:	Ruční aplikace tavidla na BGA pájecích kontaktech	25
Obr. 17:	Vzorek č. 5 po ručním nanesení tavidla α s výskytem studených spojů	26
Obr. 18:	vzorek č. 6 po ručním nanesení tavidla s výskytem studených spojů	27
Obr. 19:	Vzorek č. 8 po ručním nanesení tavidla α se zkratem ve spodní části	27
Obr. 20:	Testovací pracoviště s dispenzerem	29
Obr. 21:	Nanesené tavidlo disenserem na BGA pouzdrů s optickým zvětšením 18.8x	30
Obr. 22:	Vzorek č. 1 zapájení po aplikaci tavidla α dispenzováním	31
Obr. 23:	Vzorek č. 1 detailním pohledem na pájené spoje aplikaci tavidla α dispenzováním	32
Obr. 24:	Vzorek č. 7 s mírnou deformací zapájený po aplikaci tavidla α dispenzováním ..	32
Obr. 25:	Vzorek č. 8 zapájený po aplikaci tavidla α dispenzováním	33

Obr. 26:	Vzorek č. 1 zapájení po aplikaci tavidla β dispenzováním	35
Obr. 27:	Detailní pohled na vzorek č.1 po aplikaci tavidla β dispenzováním	35
Obr. 28:	Vzorek č. 3 se zkratem zapájený po aplikaci β dispenzováním	36
Obr. 29:	Vzorek č. 6 s mírnou deformací zapájený po aplikaci tavidla β dispenzováním ..	36
Obr. 30:	Aplikace pájecí pasty na opravovanou DPS.....	37
Obr. 31:	Pouzdro Fine Pitch o rozteči 500 μ m mezi kontakty	38
Obr. 32:	Pájecí pasta dispenzována na pájecí body o rozteči 1 mm s vývody uspořádané v matici 8 x 8	39
Obr. 33:	Vzorek č. 1 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním	40
Obr. 34:	Vzorek č. 2 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním	40
Obr. 35:	Vzorek č. 5 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním	41
Obr. 36:	Vzorek č. 11 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním	41
Obr. 37:	Graf výtěžnosti procesu pro dispenzování tavidla a pájecí pasty pro Fine Pitch BGA komponent.....	42
Obr. 38:	Přípravek pro dipping s naneseným tavidlem a stěrka pro vytvoření filmu.....	43
Obr. 39:	Vytvořená rovinná vrstva tavidla pro dipping.....	44
Obr. 40:	Probíhající dipping BGA komponentu v servisní stanici	44
Obr. 41:	Vytvořený otisk Fine Pitch BGA komponentu v aplikačním přípravku s vrstvou tavidla	45
Obr. 42:	Vytvořený film z tavidla α v aplikačním přípravku	45
Obr. 43:	Vytvořený film z tavidla β v aplikačním přípravku	46
Obr. 44:	Vzorek č. 1 pro BGA komponent o rozteči Fine Pitch po aplikaci tavidla α dippingem.....	47
Obr. 45:	Detail vzorku č. 2 pro BGA komponent o rozteči Fine Pitch po aplikaci tavidla α dippingem.....	47
Obr. 46:	Vytvořený otisk BGA komponentu s maticí vývodů 8 x 8 s roztečí 1 mm v aplikačním přípravku.....	48
Obr. 47:	Vzorek č. 1 s zapájeným pouzdem o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla α dippingem.....	49
Obr. 48:	Vzorek č. 2 s zapájeným o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla α dippingem.....	49
Obr. 49:	Vzorek č. 1 s zapájeným pouzdem Fine Pitch po aplikaci tavidla β dippingem..	51
Obr. 50:	Vzorek č. 2 s zapájeným pouzdem Fine Pitch po aplikaci tavidla β dippingem..	51

Obr. 51:	Vzorek č. 5 s zapájeným pouzdrém Fine Pitch po aplikaci tavidla β dippingem..	52
Obr. 52:	Vzorek č. 1 pro pouzdro o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla β dippingem	53
Obr. 53:	Vzorek č. 3 pro pouzdro o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla β dippingem	53
Obr. 54:	Vzorek č. 4 pro pouzdro o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla β dippingem	54
Obr. 55:	Vytvořená rovinná vrstva pájecí pasty pro dipping.....	54
Obr. 56:	Vytvořený otisk v pájecí pastě od Fine Pitch BGA komponentu v aplikačním přípravku	55
Obr. 57:	Vzorek BGA komponentu o rozteči Fine Pitch po zapájení pájecí pastou aplikovanou metodou dipping	56
Obr. 58:	Detail vzorku BGA komponentu o rozteči Fine Pitch po zapájení pájecí pastou aplikovanou metodu dipping	56
Obr. 59:	Vzorek č. 1 s zapájeným pouzdrém o rozteči 1 mm po aplikaci pájecí pasty dippingem.....	57
Obr. 60:	Vzorek č. 2 s zapájeným pouzdrém o rozteči 1 mm po aplikaci pájecí pasty dippingem.....	57
Obr. 61:	Graf výtěžnosti procesu pro dipping tavidla a pájecí pasty pro Fine Pitch BGA komponent.....	58
Obr. 62:	Graf výtěžnosti procesu pro dipping tavidla a pájecí pasty pro BGA komponent s maticí vývodů 8 x 8 s roztečí 1 mm.....	58
Obr. 63:	Celkové vyhodnocení metod pro typ Fine Pitch roztečí 500 μm	60
Obr. 64:	Celkové vyhodnocení metod pro BGA komponent s roztečí 1 mm.....	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1:	Mechanismus vzniku Voidu[15]	16
Tab. 2:	Tabulka vzorku pro ruční aplikaci tavidla α	26
Tab. 3:	Tabulka vzorku aplikace tavidla α dispenzováním pro Fine Pitch rozteč BGA komponentu	31
Tab. 4:	Tabulka vzorku aplikace tavidla β dispenzováním pro Fine Pitch rozteč BGA komponentu	34
Tab. 5:	Tabulka vzorku aplikace pájecí pasty dispenzováním na pájecí body DPS uspořádané v matici vývodů 8 x 8 s roztečí 1 mm	39
Tab. 6:	Tabulka vzorku aplikace tavidla α dippingem na BGA komponent s kontakty uspořádanými v matici vývodů 8 x 8 o rozteči 1 mm	48
Tab. 7:	Tabulka vzorku aplikace tavidla β dipping pro Fine Pitch rozteč BGA komponentu	50
Tab. 8:	Tabulka vzorku aplikace tavidla β dippingem na BGA komponent s kontakty uspořádanými v matici vývodů 8 x 8 o rozteči 1 mm	52

ÚVOD

Dosavadní trend vývoje v mikroelektronice a její odvětví zabývající se pouzdřením polovodičových čipů má neustále zvyšující nároky dosáhnout co nejmenší zástavbové plochy na DPS při stále zvyšujícím se počtu kontaktů s ohledem na dosažení vysoké spolehlivosti při nízkých výrobních nákladech. Používané řešení s vývody v jedné linii vycházející z boku pouzdra ve dvou řadách nebo po celém obvodu pouzdra se začala stávat pro některé aplikace již nevhodná a z tohoto důvodu se začala více používat pouzdra s vývody v maticovém uspořádání po celé ploše. Jedno z řešení bylo vyvinuto firmou Motorola, která pouzdro pojmenovala BGA (Ball Grid Array). Kdy bylo možné dosáhnout vysokého počtu připojovacích kontaktů na malé ploše.

Dnešní systémy jsou v mnoha případech komplexní s kombinací digitální a analogové části. Z tohoto důvodu se stávají stále komplikovanější pro výrobu a použité technologie následným testováním funkčnosti zařízení. Proto je ekonomicky výhodnější analyzovat závadu a následně jej opravit na úrovni jednotlivých součástí nebo komponentu popřípadě přehrát software v paměti než měnit celé karty nebo moduly DPS za nové u zařízení, kde je to možné provést.

Z environmentálního pohledu je pro opravu zařízení v případě jeho poruchy spotřebováno mnohem méně surovin, energie a pitné vody než pro výrobu celého nového komponentu. Tímto se zamezí produkci toxických odpadů vznikajících při výrobě nového zařízení. Z tohoto důvodu lze efektivněji využívat obnovitelných a neobnovitelných zdrojů se zachováním zásob pro budoucí generace. Z pohledu ECO designu lze u zařízení klást důraz na možný servis a dostupnost náhradních dílů. Po životním cyklu zařízení jej lze recyklovat a tím získat zpět vstupní suroviny pro výrobu nových zařízení.

V dané oblasti se také rozvíjí technologie pájení a při neustálém výzkumu s tím i spojené metody oprav pájených spojů mezi pouzdrem a deskou plošného spoje (DPS). Neustálé inovace při výzkumu a vývoji vhodných tavidel s použitím pájecích past v oblasti nanášení a následné aplikace u oprav pájených spojů BGA pouzder, jenž se tato práce bude blíže zabývat. Neboť BGA pouzdra jsou stále častěji vybírány při návrhu nových zařízení a pro své výhody oproti jiným pouzdrům dostupným na trhu.

1 BGA POUZDRA

Zásadní rozvoj u BGA pouzdra začal v době, kdy se stala nutnost připojit polovodičové čipy s velkým počtem vývodů na desce plošných spojů (DPS) při minimální zástavbě na plochu. Do té doby bylo dostačující pouzdro s dvěma řadami vývodů. Mezi další možnosti se řadí požití čtyřhranných pouzder QFP. U níž postupným vývojem se zmenšovala rozteč vývodů i velikost samostatné plochy pouzdra. To má však za následek neustále zvyšování nároků na koplanaritu pájecích ploch a přesné sesouhlasení při následném usazení pouzdra osazovacím automatem na DPS s přesně definovaným množstvím pájecí pasty na pájecích ploškách.[1]

Řešení přichází ve formě BGA (Ball Grid Array) čtyřhranného půdorysu pouzdra s vývody na spodní straně uspořádané v pravoúhlé maticové formě, někdy nebývá zcela pravidelná a některé kontakty jsou vynechány. Pouzdro je určeno pro povrchovou montáž. Mezi hlavní výhody se řadí úspora zastavěného prostoru na DPS při možnosti vysokého počtu propojení mezi pouzdem a DPS. Rozložení vývodů dává dostatečný prostor pro jejich rozteč. Průměr kuliček je od 0,2 – 1 mm a používaným základním materiálem je bezolovnatá pájka což umožňuje při pájení přetavením plastického vytvarování a vycentrování pouzdra na pájecí plošky. Po zapájení se kuličky se mění na sudovitý tvar.

Používají se dvě možnosti kontaktování polovodičového čipu zafixovaného v pouzdru na vnější pájecí plošky s kulovými kontakty z pájky. Polovodičový čip uložený v pouzdře je připojený na vnější kontakty drátky. Kontaktování se provádí s ultrazvukem za použití hliníkového drátku nebo termokompresí kdy se používá zlato ve formě tenkého drátku. Schématický nákras je na obr. 1. Další možnosti propojení je metodou Flip Chip. Na polovodičovém čipu jsou již vytvořeny vývody kulovitého nebo sudovitého tvaru a ty se připájejí na nosný substrát pouzdra. Poté se nanese underfill do prostoru mezi čipem a nosným substrátem který zlepšuje mechanické vlastnosti a případný přenos generovaného tepla z polovodičového čipu. Schématický nákras Flip Chipu je na obr. 2.

Výhody BGA pouzder:

- využívá se jen samo-vytřídění při procesu pájení
- úspora místa oproti pouzdrům s páskovými vývody
- lze vyvést více kontaktů na stejné ploše oproti jiným typům pouzder
- nízká parazitní indukčnost a kapacita přívodu
- možnost umístit více čipů do jednoho pouzdra MCM (Multi Chip Module)

BGA pouzdra lze rozdělit na několik typů dle použitého nosného substrátu[2]:

- PBGA (Plastic Ball Grid Array) – Polovodičový čip je přilepen na sklolaminátové podložce se skelnou tkaninou nejčastěji FR4, FR5. Chráněný je plastovou hmotou. Mezi hlavní důvody rozšíření je příznivé ekonomické hledisko pouzdra. Při použití stejného základního substrátu je zajištěn stejný teplotní koeficient roztažnosti.
- CBGA (Ceramic Ball Grid Array) – Nosný substrát pouzdra je tvořen vícevrstvou keramickou podložkou, na které je fixován polovodičový čip. Tento typ pouzdra se nejčastěji používá u aplikací, kterých je nutné zajistit dobrý odvod vygenerovaného tepla z čipu a pouzdra. U keramických pouzder je důležité zvolit vybírat materiály DPS se shodným nebo podobným koeficientem teplotní roztažnosti. U různých koeficientů roztažnosti dochází k mechanickému pnutí při zahřátí pouzdra a následném chladnutí. Dlouhodobé cyklické namáhání u větších pouzder může nastat defekt spoje (prasknutí) mezi pouzdrem a DPS.
- MBGA (Metal Ball Grid Array) – Pouzdro je používáno ze základního materiálu oxidovaného hliníku nebo kovu a čip je seshora zakryt hliníkovým krytem, který je uzemněn. Toto pouzdro má dobré tepelné vlastnosti a je dobře stíněno.
- CSP (Chip Scale Package) – jedná se o jedno z nejmodernějšího typu pouzder. Též známo pod názvem μ BGA Polovodičový čip je v pouzdru připojen technologii Flip-Chip. Pouzdro je připojuje přes slitinové kuličky pájky, které mají o něco větší rozteč než rozteč připojení u polovodičového čipu. Velikost pouzdra je o něco větší než velikost samotného čipu.
- TBGA (Tape Ball Grid Array) – Základní materiál se skládá z pružné polyamidové podložky na které je vytvořen vodivý motiv z mědi. Čip je na základním materiálu připojený metodou Flip Chip.

2 PROBLEMATIKA VÝMĚNY BGA

U opravovaných desek plošných spojů (DPS) se výhradně používá technologie pájení přetavením, proto bude blíže popsána a vysvětlena v následujících kapitolách.

V procesu se uplatňuje několik důležitých vlivů, na které je nutné se zaměřit a vhodně je optimalizovat. Při opravě nefunkční desky se jedná v prvním kroku o přesné analyzování a určení příčiny nefunkčnosti způsobenou chybou. Může se jednat o mechanické poškození desky vlivem prohnutí, přerušeni vodivé cesty nebo elektrického kontaktu v prvokovu. Trvalé porušení koplanarity DPS může způsobit praskliny v pájených spojích s následnou poruchou elektrické vodivosti tohoto spoje. Mezi další časté příčiny se může zařadit destrukce polovodičového čipu.

Po vstupním analyzování elektrické závady se provádí bezpečná demontáž BGA pouzdra takovým způsobem aby nedošlo k trvalému poškození polovodičového čipu, odtržení pájecí plošky nebo deformaci DPS. Při zjištění elektrické závady na DPS následuje přesun na stanoviště vysoušení, aby se předešlo delaminaci DPS a osazených komponentů při pájení pohlcenou vzdušnou vlhkostí. Po cyklu sušení, které trvá několik hodin ve vysoušecím zařízení, následuje sundání označeného polovodičového čipu, který byl analyzován na diagnostickém pracovišti za vadný a následně označen. Dle typu pouzdra je provedeno odebrání ručně nebo strojově. Následující operací je čištění DPS od tavidlových zbytků a přebytečné pájky na pájecích bodech určených pro pouzdro. Poté následuje nanesení tavidla a strojové osazení nového čipu s pájecími body na servisní stanici. Pájení přetavením je provedeno IR zářením, které se zaměřuje (fokusuje) na polovodičový čip, aby došlo minimálnímu ohřevu a tepelnému namáhání okolních komponentů.

Po výměně vadných součástí je DPS opravená a vizuálně zkontrolována optickou kontrolou nebo rentgenem. Nakonec je provedeno testování diagnostikem na kompletní funkčnost DPS. Poté je deska zpět naistalována do zařízení a po finální otestování celé opravené jednotky je zabalena expedována zpět zákazníkovi.

2.1 Čištění pájecí slitiny

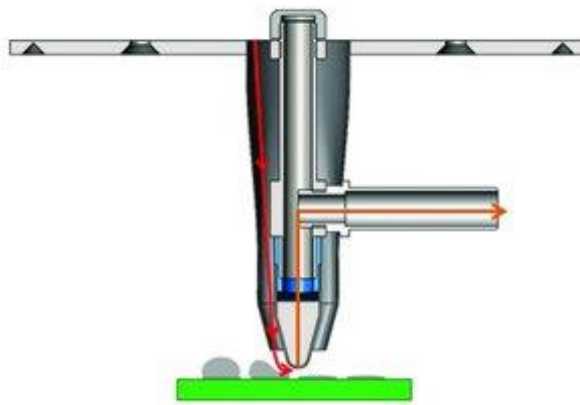
Čištění pájecí slitiny následuje v postupu po sundání pouzdra na desce plošného spoje (DPS). Pro odstranění přebytečné pájecí slitiny se využívá tzv. knot někdy nazývané odsávací lanko, jenž je upleteno z mnoha tenkých měděných drátů do rohože a bývá dodáváno s obsaženým tavidlem zlepšující savost pájecí slitiny do objemu lanka. Praktické použití je velice jednoduché, přiložíme čistý konec knotu na pájecí plošku a následně ho přitlačíme k plošce horkým hrotem pájky tak, aby došlo dobrému přenosu tepla. Pájecí slitina ohřevem změní skupenství na kapalné a následně navztlíná do odsávacího lanka. Z tohoto důvodu je možné odsát i větší množství slitiny z pájecích plošek.

Tento úkon lze několikrát opakovat dle potřeby až po úplné vyčištění pájecí plošky. Však při vícenásobném provedení úkonu může dojít k deformaci nebo odtržení pájecí plošky. Dlouhodobým působením mechanického a tepelného namáhání může dojít k poruše vazby mezi nosným materiálem FR4 a mědí. Následkem toho je odpadnutí pájecí plošky. Více náchylné na poškození jsou pájecí plošky, které nejsou dále připojeny na měděný vodič. Dalším typem jsou plošky, které jsou přímo připojeny na prokov (via). U níž se při několikanásobném čištění může přerušit elektrické spojení prvokovu s další vnitřní vrstvou na DPS.

Další možností je očištění přebytečné pájecí slitiny použitím speciálního hrotu na pájce nazývaného minivlna. Zakončení hrotu do dutého komolého válce, který je v jeho užším konci zkosený pod ostrým úhlem. Hrot je vyhříván a ve vzniklém dutém prostoru je rozpuštěna pájka. Tato metoda se vyznačuje rychlejším odsáváním oproti knotu.

Poslední moderní možností je bezkontaktní metoda, jež eliminuje potenciální nebezpečí kontaminaci oproti použití všech kontaktních metod u opravovaných DPS. Tuto možnost nabízí horkovzdušná opravárenská stanice Onix 29 od švýcarské společnosti Zevac. Je vybavena dolním ohřevem, který je tvořen keramickými tělesy a horní ohřev zajišťuje pohyblivá horkovzdušná tryska která fokusuje horký vzduch na DPS do jednoho bodu kde ohřívá zbytky pájky na teplotu, aby přešla kapalného skupenství. Společně s ohřevem je vytvářen podtlak ve středové části, kde je pájka ohřívána a odsávána do zásobníku v zařízení. Tento efektivní způsob zajišťuje velice rychlé očištění opravované desky s minimálním rizikem jejího mechanického poškození a poškození pájecí masky. Nákres trysky s odsáváním na obr. 3. Nevýhodou lze zahrnout vysoké vstupní ekonomické náklady zařízení oproti přechodným metodám, které jsou refundovány zvýšením výtěžnosti v procesu.[3]

Při použití jakékoliv metody je nutné úplné očištění izopropylalkoholem nebo použití jiného vhodného rozpouštědla aby došlo odstranění tavidlových zbytků a rezidua která vznikla při čištění a byly znovu obnoveny výborná pájitelnost pro následující prováděné operace na DPS.



Obr. 3: Princip bezkontaktní hubice pro čištění pájky[4]

2.2 Nanášení pájecí slitiny

Po procesu čištění následuje nanášení pájecí pasty nebo osazování pájecích kuliček. Osazování kuliček je provedeno v případech, kdy není dostupnost nového obvodu v daném pouzdru na trhu a odebraný integrovaný obvod je funkční. Z důvodu a časové náročnosti této opravy je výhodnější osazovat nové pouzdra. Ty již mají z výroby připravené kontakty z pájky v kulovitém tvaru. Sundané pouzdro se očistí od zbytků pájky a tavidla. Prováděný proces se nazývá Reball (pře-kuličkování) a je převážně využíván v servisních opravách. Na očištěné pouzdro od původní pájecí slitiny a případných oxidů je znovu nanese tavidlo a poté se přes matici zafixují nové pájecí kuličky definované velikosti dle typu opravovaného pouzdra. Ty se následně připojí na pouzdro provedením krátkého přetavení pájky. Pouzdro s kulovými kontakty tvořené z pájky je následně strojově osazeno na DPS a poté následuje pájení přetavením.

Další metoda je nanášení šablonovým tiskem. Ve výrobě se využívá šablonového poloautomatu nebo automatu. Ve stroji je upnutá nerezová šablona s daným motivem určeným pro daný typ DPS. Na okraj šablony se nanese pájecí pasta do místa před těrku. Následným přímočarým pohybem těrky se přejeďe šablona a do otvoru v ní se nanese definované množství pájecí pasty dle vytvořeného motivu. Existuje více šablon vždy pro daný typ opravovaného pouzdra. Sesouhlasení šablony u opravovaných desek z důvodu nedostatku prostoru se na DPS provádí vizuální kontrolou a použitím ruční stěrky se nanese pájecí pasta přes šablonu.

Poslední popisovaný způsob je dispenzování kdy se dle nastaveného dávkování nanese definované množství pájecí pasty. Existují dva základní typy zařízení podle řízení dávkování media. První typ zařízení využívá principu kdy je řízen tlakem a časem. Druhým typem je použití šnekového ventilu. Mezi další vlivy ovlivňující dávkované množství se řadí typ a průměr použité jehly a použitá pájecí pasta s tavidlem.

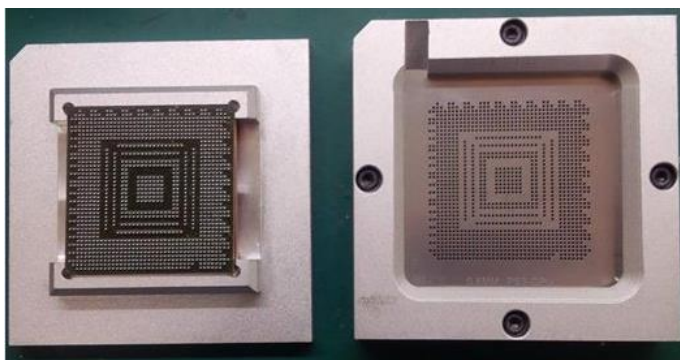
2.2.1 Šablony pro BGA kuličky

Použitý materiál pro výrobu šablony je nerezový plech definované tloušťky. V plechu je následně vytvořen obrazec matice kruhových otvorů v daných pozicích tak, aby při přiložení a sesouhlasení odhalili jen pájecí plošky pouzdra. Velikost otvorů v šabloně je vytvořena o něco větší než průměr pájecí kuličky.

Opravované pouzdro se nejprve odebere z DPS. Poté je uloženo do spodního dílu přípravku tak aby strana s pájecími ploškami byla odhalena. Následuje očištění pájecích plošek od pájecí pasty a tavidla. Po úplném vyčištění je provedena optická kontrola, zda nebyly některé plošky odtrženy nebo poškozeny. Poté je na celé ploše pouzdra nanese tavidlo. Následuje přiložení horního dílu přípravku na spodní díl. Horní díl je předem osazen šablonou pro daný typ pouzdra. Na obr. 4 je viditelný dvoudílný přípravek. V pravé části obrázku je fixované pouzdro v spodním dílu přípravku a v levé části obrázku je horní díl přípravku s instalovanou šablonou. Horní díl je vybavený v levé horní části výřezem pro odsypání přebytečných kuliček.

Dalším krokem je hromadné nanesení kuliček z pájky na šablonu. Kuličky postupně vyplní kruhové obrazce v šabloně v pozicích, kde jsou pájecí plošky na pouzdru. Šablona kuličky centruje a zabezpečuje, aby v otvoru byla pouze jedna kulička z pájky. Ty jsou již částečně fixovány naneseným tavidlem na pouzdru. Poté se přebytečné kuličky znovu odeberou odsypáním zpět do zásobníku. Následuje optická kontrola úplnosti obsazení všech pozic v šabloně a jejich případné doplnění chybějících kuliček. Následujícím kroku se provede přetavení kuliček, aby došlo k úplné fixaci k pouzdru. Kuličky se automaticky vycentrují a vytvoří se pájený spoj na pájecích bodech pouzdra a vzniknou kontakty kulového tvaru z pájky. Poté se odebere šablona a pouzdro může být následně použito pro strojní osazení na DPS. Následným procesem pájení přetavením se pouzdro připojí na DPS.

Při opravě více typu odlišných typu pouzder je nutné mít šablonu pro každý typ a odpovídající průměr pájecích kuliček tvořené ze slitiny kovů pro pájení. Nejčastěji se používá pájecí slitina SAC 305.



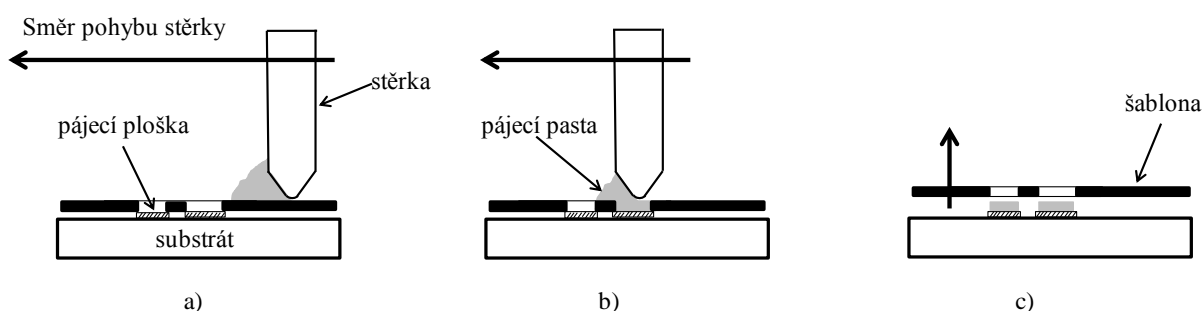
Obr. 4: Dvoudílný přípravek pro BGA pouzdro s upevněnou šablonou [5]

2.2.2 Šablony pro pájecí pastu

Šablonový tisk původně vychází ze sítotisku s tím rozdílem, že není používáno síto, které se průjezdem těrky propíná směrem k tištěné ploše ale pevná nerezová šablona která je přiložena na DPS nebo pouzdro. Metoda tiskem šablonou se často využívá ve výrobě při větších sériích ale i opravárenství.

Pro nanášení pájecí pasty se používají šablony vygenerované dle návrhových programů pro DPS nebo v případě oprav si podklady pro šablony vygenerují dle použitého typu pouzdra s omezením na možný využitelný prostor na desce. Šablony se pohybují od tloušťky 100 – 250 μm ale na přání zákazníka mohou být zhotoveny i s jinou specifickou tloušťkou. Obrazce pro pájecí pastu jsou připraveny leptáním nebo vypáleny laserovým paprskem. Laserem vyrobené šablony se vyznačují lepšími vlastnostmi při následném odtrhnutí šablony a přesností natištěného tvaru. U otvoru vytvořeným laserem nezůstávají zbytky, a proto není nutné je tak často čistit. Hlavní nevýhodou lze zařadit vyšší cenu oproti leptaným. Další nevýhoda leptaných šablon je, že musí být počítáno s korekcí mezi filmovou předlohou pro leptání z důvodu, aby nedocházelo podleptání šablony, které je také závislé na tloušťce šablony.[6]

Nanášení na DPS probíhá následovně. U opravovaných desek se šablona vizuálně vycentruje na pájecí body. Poté je vhodné šablonu zafixovat a následně se na okraj šablony nanese pájecí pasta. Ta se kovovou stěrkou přenese přes šablonu a definované množství se nanese do vytvořených otvorů, jak je na obr. 5. Kde jsou vyobrazeny tři hlavní základní kroky šablonového tisku. První je vycentrování šablony na pájecí body a nanesení pájecí pasty označeno na obr. 5a. Následujícím krokem se těrkou nanáší pájecí pasta do vytvořených obrazců v šabloně označeno obr. 5b. Posledním krokem se provedení vertikálního odtrhnutí šablony od desky takovým způsobem, aby hrany natištěných obrazců nebyly strženy šablonou označeno obr. 5c. Další nevýhoda je, že tavidlové složky pájecí pasty se při dlouhodobém přístupu k okolní atmosféře odpařují a pasta se znehodnocuje.



Obr. 5: Schématický náčrt pro šablonový tisk[7]

2.2.3 Dispenzování

Dispenzer je zařízení řízené ventilem ovládající a zajišťující přesné dávkování neboli dispenzování. V elektrotechnice je používán pro dávkování pastovitých a gelových složek. Lze je rozdělit na lepidla, tavidla a pájecí pasty nebo kombinace vytvořenou z vícevstupních složek. Dle typu řízení se rozdělují na dvě základní skupiny a to podle řízení dávkování na pístové a šroubové.

Zařízení řízené tlakem a časem nemá tak přesné a reprodukovatelné dávkování jak u typu řízeného šroubem. Zařízení dávkující přes přesnou šroubovici kde se nanese množství pasty definuje otočením šroubovice o daný úhel. Šroubovice je někdy nazývána Archimédův šroub. Tímto způsobem lze dosáhnout vyšší reprodukovatelnosti naneseného množství v procesu. Zařízení může být ruční nebo automatické. U strojového zařízení se používá automatického navádění ovládané s obslužným softwarem, kdy lze přesně nadefinovat dané souřadnice, na které má být pájecí pasta aplikována. U vyšších modelových řad mohou být kartuše předehřívány na permanentní teplotu, aby bylo docíleno stejné viskozity vstupního materiálu.

Kvalitu nanášení také ovlivňuje používaná dávkovací jehla, která se může lišit v průměru a délce dávkovací kapiláry u kovových provedení. Plastové provedení jehly nebo kapiláry může být použit tvar dutého komolého kužele. Důležitá je vhodná volba dávkovací typu dávkovací kapiláry. Jedná se o jeden z faktorů ovlivňující množství dávkovaného materiálu. Některé pájecí pasty bývají již baleny do kartuší připravené pro dispenzory s kompatibilní koncovkou se zámkem pro jehlu čímž urychlují práci. Obecně takto připravené balení pasty jsou dražší než balení v kelímku.[8]

2.3 Připojování BGA pouzdra na DPS

Pro připojování BGA pouzdra k desce plošného spoje (DPS) se používají dva druhy vodivého propojení. Jedná o lepený nebo pájený spoj. Prvního typu lze zahrnout použití anizotropního lepidla. Tato metoda je spíše využívána pro připojování řídicích obvodů u displejů. Anizotropní lepidlo bývá nejčastěji dodáváno ve formě tenkého filmu. Po aplikaci lepidla na desku následuje přesné sesouhlasení kontaktu BGA pouzdra na DPS s následným usazením pouzdra. Propojení je vytvořeno působením tlaku a definované teploty. Tímto se lepený spoj vytvrdí a v místě kontaktu je vytvořen elektrický spoj. Lepené spoje oproti pájeným spojům vykazují nižší spolehlivost a horší mechanické vlastnosti. Proto se častěji využívá připojování pájením.[9]

Připojování BGA pouzdra probíhá pájeným spojením ve tvaru kulových kontaktů na spodní straně. Nejčastěji je využíváno měkkých pájek v takovém poměru jednotlivých složek, aby vzniklo eutektikum z dané slitiny. Pro připojování pouzdra k DPS se používá více možností.

U prvního typu se na pájecích ploškách DPS použitím šablonového tisku vytvoří kruhové obrazce z pájecí pasty. Na tyto vytvořené obrazce na DPS se poté usadí BGA pouzdro a následuje přetavení. Druhá možnost je dispenzování pájecí pasty na pájecí body a následně je na něj osazeno pouzdro, které má již osazené kontakty kulového tvaru z pájky a nakonec je provedeno pájení přetavením. Třetí možností je pouzdro osazeno pájecími kontakty, na které je dippingem nanášena pájecí pasta nebo tavidlo a poté se usadí na DPS a následuje pájení přetavením. Usazování je prováděno naváděním v přístroji nebo optické usazení na desku.

V elektrotechnice lze rozdělit pájení do dvou hlavních skupin ruční a strojní. Ruční pájení je spíše využíváno u oprav desek po strojním pájení, servisu a vyvíjení testovacích prototypů. Strojní pájení poté lze dále rozdělit do několika dalších skupin dle využívané technologie[10].:

- Pájení vlnou
- Selektivní pájení
- Pájení přetavením

Ruční pájení se kvůli časové náročnosti u BGA pouzder neuplatňuje, výjimku tvoří opravy, kde se používá pájení přetavením použitím fokusovaného horkého vzduchu nebo IR záření na servisních stanicích. Pájení vlnou z geometrického rozložení kontaktu mezi pouzdem a DPS je z podstaty technologie nemožné. Selektivní pájení je určeno pro pájení vývodových součástek u DPS s vysokou integrací kde není možnost použít pájení vlnou. Proto je využíváno selektivní vlny, která se primárně používá pro připojování konektoru. Mezi vhodné technologie pájení BGA pouzder lze tedy zařadit pájení přetavením s využitím horkého vzduchu, IR záření nebo pájení v parách.

2.3.1 Pájení horkým vzduchem

U tohoto typu pájení se jedná o bezkontaktní metodu vhodnou u součástek určených pro povrchovou montáž (SMD). Využívá se zde způsobu přenosu tepla nazývané proudění (konvekce). Tento jev nastává přenášením pohybem jednotlivých molekul plynu nebo kapaliny. Šíření tepla je intenzivnější než šíření vedením (kde nastává neuspořádaný pohyb jednotlivých částic). Při konvekčním proudění je i část energie předávána kondukcí, ta se může dále blíže rozdělit na přirozenou a nucenou. Při pájení horkým vzduchem využíváme nucenou konvekci vytvářenou uměle pomocí ventilátorů nebo čerpadel [11].

Tato metoda je velice často využívána v oblasti oprav, kdy potřebujeme bezpečně odebrat z desky vadný komponent nebo součástku, aby nedošlo k jinému poškození DPS. Nejčastěji je využíváno pro bezpečné odebrání pasivních součástek, některých typu konektoru a u pouzder lze zařadit tyto typy: BGA, SOIC, QFN, PLCC. Používají se horkovzdušné pájecí stanice. Jedna z nevýhod je poměrně dlouhá doba ohřevu, aby se dosáhlo požadované teploty a pájka změnila skupenství na kapalné.

Někdy se využívá stínění v okolí vadného komponentu, aby nedocházelo tepelnému namáhání desky s kombinací vhodného výběru tvaru trysky pro přesnější směrování (fokusování) horkého vzduchu. Na stanici je možné nastavit průtok vzduchu (l/min) a teplotu horkého vzduchu. U profesionálních opravárenských stanic bývá další vybavení ve formě spodního předehřevu desky infračervenými zářičem a horní část je osazena horkovzdušnou tryskou. Stanice bývají řízeny softwarově dle nastaveného přetavovacího profilu řízeného dle termočlánků umístěným na opravované součástce.

2.3.2 Pájení IR (infračerveným zářením)

Infračervené pájecí je bezkontaktní metoda, kdy se projevuje jev přenosu tepla nazývaný záření (radiace). Neboť každá látka eliminuje elektromagnetické záření, pokud nemá teplotu absolutní nuly. Zvyšujících se teplotou se zvyšuje i vyzářená energie z tělesa. Pokus umístíme dvě tělesa tak, aby jedno těleso mělo nižší teplotu a druhé vyšší. Tak to těleso s nižší teplotou bude přijímat více energie, než vyzáří, a proto jeho teplota se bude zvyšovat. Energie zářiče v oblasti elektromagnetického spektra nespotřebuje ke svému šíření žádné okolní medium. Při pájení se využívá infračerveného záření, kde jsou nejužitečnější vlnové délky v rozsahu 0,1 μm až 100 μm . V tomto rozsahu jsou zahrnuty některé ultrafialové (UV) složky, viditelné světlo a infračervené složky[12].

Tento jev má i nevýhodu v té formě, že pouzdra vyrobená z tmavého nebo černého materiálu se ohřívají rychleji než nanesená pájecí pasta nebo jejich lesklé kontakty, které se ohřívají pomaleji dle barvy. Pokud jsou kontakty zastíněny proti záření ať již geometrii pouzdra, neboť záření je přímočaré od zářiče. Příkladem lze uvést BGA pouzdro je účinnost ohřevu nižší a na polovodičovém čipu mohou nastat vyšší teploty. Energie ve formě tepla poté přechází dále kondukcí nebo konvekcí.

V elektrotechnice a přetavovacích pecích nebo servisních stanicích jsou zdroje infračerveného záření využívány převážně keramické zářiče. Lze u nich dosáhnout vysokého výkonu za poměrně nízkou cenu. Hojně jsou používány pro spodní předehřev u servisních stanic. Zářiče jsou obsaženy In-line pecích pro sérovou výrobu s kombinací horkovzdušnými tryskami. Lze je také použít pro vrchní ohřev. IR zářič bývá využíván se souborem zrcadel umístěných tuby, aby došlo lepšímu fokusování na součástku a jen k lokálnímu ohřevu.

2.3.3 Pájení v parách

Pájení v parách probíhá v izolované nádobě, aby nedocházelo úniku tepla nebo vytvářené páry. Desky se umístí do zóny nad kondenzovanou kapalinu a kapalina se v komoře začne zahřívat a následně odpařovat. Následkem je vznik nasycené páry.

Pájení v parách je velice výhodné neboť vzniká rovnoměrné rozložení teploty na DPS, ale i pájených komponentech, které jsou osazeny v pájecí pastě. Pára kondenzuje na chladnějších místech desky, součástek i jejich vývodů. Z podstaty vyplývá, že pára se

dostane bez problému na všechny místa a proto je vhodná pro pájení hustě osazených DPS s vysokou integrací součástek s rozdílnými teplotními kapacitami. Při kondenzaci na daném místě se teplo přeneso na chladnější povrch a z tohoto důvodu dosahujeme rovnoměrného ohřátí součástek i s rozdílnou hmotností a barvou povrchu. Toto nám zaručuje, že v celém prostoru bude rovnoměrná teplota. Takto nasycená pára neobsahuje kyslík a nevzniká tedy oxidace na pájených spojích a pájecích bodech. Proto můžeme využívat méně agresivní tavidla. K pájení se používají fluórouhlíky s bodem varu 215°C nebo 250°C to nám zaručuje úzký rozsah teplot pro přetavení 220-235°C nebo 250-265°C. Rovnoměrnost ohřevu je vhodná pro redukci voidu v pájených spojích[13].

Výhody pájení v párách[13]:

- Vsázkový typ hromadného pájení
- Rovnoměrné zahřívání a ohřev při odlišné geometrii komponentu a hmotnosti
- Rovnoměrné rozložení teploty v pájecí zóně
- Nemůže dojít k překročení maximální teploty než teplota páry
- V zóně přetavení nedochází k oxidaci
- Jediná technologická proměnná veličina: doba pájení
- Možnost používat méně agresivní tavidla

Nevýhody pájení v párách[13]:

- K dispozici jsou jen určité pájecí teploty
- Vysoký gradient teploty při náběhu
- Vhodnost zvolených materiálů pro pájení v párách
- Ekonomicky nákladná kapalina pro pájení v párách
- Při pájecím procesu dochází ke ztrátám pájecí kapaliny

3 DEFEKTY PÁJEMNÉHO SPOJE S BGA KOMPONENTY

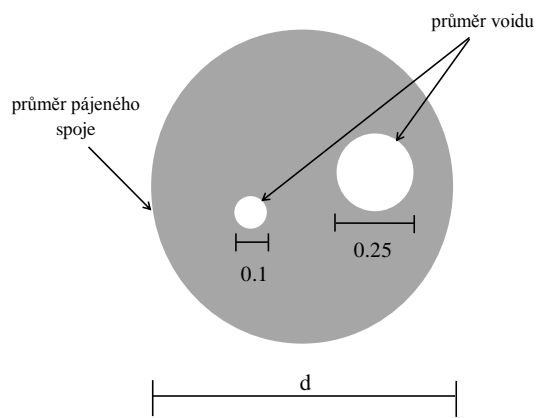
U tohoto typu pouzdra se vyskytuje několik defektů a možných chyb vycházejících z geometrie pouzdra a technologie pájení. Některé defekty mohou být následkem již špatného návrhu DPS či nevhodný návrh geometrie pájecích plošek. To při pájení způsobuje rozdílné teplotní gradienty na desce a tím nerovnoměrné zapájení pouzdra. Mezi další vlivy se řadí výběr pájecí pasty nebo volba nekompatibilního tavidla k dané pájecí pastě.

Nedílnou součástí procesu je vhodné nastavení pájecího profilu a definovaná doba dvojitého poklesu BGA pouzdra. U opravovaných desek je jedná o dodržení lokálního ohřevu a úplné očištění pájecích ploch pro zajištění dobré pájitelnosti. Defekty může způsobit špatná koplanarita pájecích ploch nebo silné zoxidování pájeného povrchu. Spojením s nevhodnou kombinací pájecí pasty s tavidlem se projeví špatným smáčecím úhlem pájeného spoje vykazující špatnou spolehlivost. Vhodnou kombinací působících faktorů na pájený spoj se projeví meniskus pájky, jenž je projevem slitinové vazby mezi pájkovým spojem a pájecí ploškou.

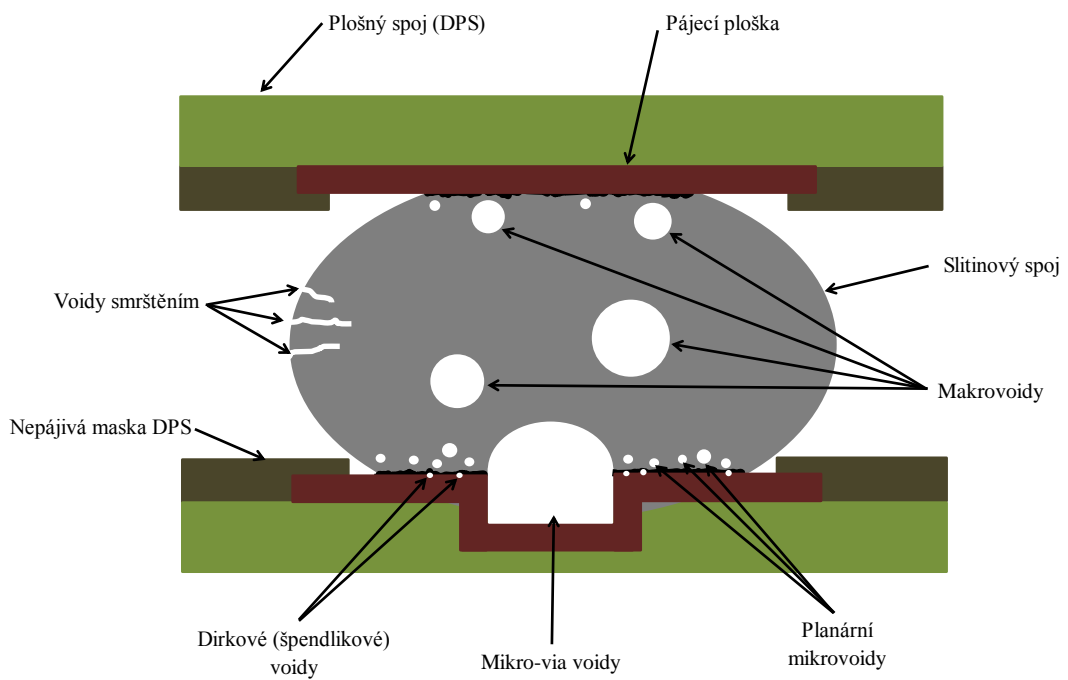
3.1 Voidy (dutiny ve vývodu)

V pájeném spoji se mohou vyskytovat prázdné otvory, které se nazývají voidy. Tyto dutiny obsahují plyny, tekuté nekovové materiály nebo tuhá rezidua. Pájený spoj s tímto defektem může vykazovat vyšší ohmický odpor a při mechanickém namáhání nižší odolnost proti defektu. Tento jev je typický pro proces pájení přetavením. Problém se více projevuje trendem zmenšujících se průměru kuliček a tím se i zvyšují nároky na spolehlivost v pájeném spoji při termomechanickém namáhání a vibracích. Voidy obsahují plyny z uvolněných z tavidel, tekuté nekovové materiály, tuhá rezidua nebo vakuum.[14]

Nadměrný výskyt voidů, prezentující více jak 25% pájené spoje dle normy IPC 610 a IPC 7095, může způsobovat spolehlivostní problém zejména u aplikací vystavujících se cyklickému teplotnímu namáhání, vibracím nebo ohybu. U příkladu na obr. 6 je ukázáno, jak se sčítají jednotlivé defekty reprezentované průměrem $0,1d + 0,25d = 0,35d$. Defekt má být méně než 25% z průměru pájeného spoje. Pro nedestruktivní vyhodnocování defektů je nutné mít rentgenové snímky[14]. Jednotlivé druhy voidů a jejich rozložení v pájeném spoji jsou na obr. 7. Jednotlivé příčiny vzniku a pojmenování se shrnuto v Tab. 1.



Obr. 6: Voidy řešení plochy[9]



Obr. 7: Rozložení voidu v pájeném spoji[9]

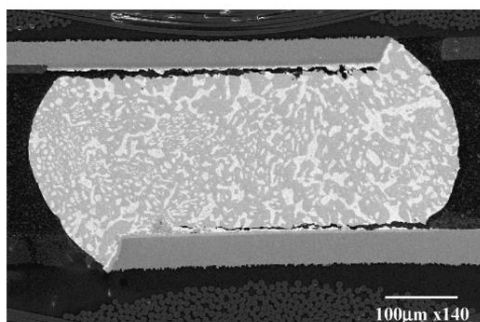
Tab. 1: Mechanismus vzniku Voidu[15]

Makro voidy	Voidy generované změnou těkavých látek z tavidla a pájecí pasty. Typické rozměry jsou 100 – 300 μm (4 – 12 mil) z průměru. Tyto voidy lze nalézt kdekoli v pájeném spoji. Dle IPC normy může být lze 25% plochy obsaženo tímto defektem. Tento defekt není typický pro bezolovnaté pájené spoje. Občas je navázán jako „Process Voids“
Planární mikro-voidy	Jsou menší než 25 μm (1 mil) z průměru. Obvykle se nachází na rozhraní pájky a a pájecí plocha v jedné rovině. Defekt je typický pro Inersní Ag ale byl již pozorován na ENIG a OSP povrchových úpravách. Předpokládá se, že příčina bude anomálie v povrchové úpravě, ale základní příčina nebyla zatím nalezena. Nazývá se také „Champaign Voids“
Smrštěné voidy	Technicky se nejedná o voidy ale lineární praskliny s nerovnými dendrickými plochami stupující z povrchu do pájeného spoje. Je to způsobeno solidifikační sekvencí SAC pájky. Defekt je typický pro bezolovnaté pájené spoje. Nazývá se také „Champaign Voids“
Voidy v mikropropojích	Voidy o průměru 100 μm a větší bývají způsobeny mikropropoji v plošce. Tyto voidy nejdou zahrnuty IPC normy do 25%. Tento defekt se projevuje u bezolovnatých tak i olovnatých pájených spojů.
Dírkové (špendlíkové) voidy	Voidy o rozměru mikronu umístěné v mědi DPS jsou viditelné přes povrchovou úpravu. Vznikají pokovováním plátované Cu u dodavatele DPS.
Kirendalloy voidy	Sub-mikronové voidy umístěné mezi IMC a měděnou plochou. Růst probíhá za vyšších teplot. Způsobeno je to rozdílnou difúzí mezi Cu a Sn. Znáte také pod „Horsting Voids“

3.2 Praskliny pájeného spoje

Příčiny vzniku praskliny pájeného spoje má za následek několik působících vlivů. Některým lze předcházet vhodným návrhem. Lze uvést příklad nepřizpůsobeného koeficientu teplotní roztažnosti (Thermal coefficient of expansion - TCE) mezi pouzdem a DPS, při použití keramického pouzdra (CBGA) a DPS tvořené základním substrátem FR4. V prostředí které bude cyklicky vystaveno vysokým teplotním extrémům. Projevem je prasklina v pájeném spoji, jež je znázorněna na obr. 8.

Prasklina může nastat při nevhodném nastavení rychlosti chlazení v teplotním profilu u reflow pájení. Výskyt voidu ve spoji způsobuje lokální snížení mechanické odolnosti v jeho okolí a zvyšuje náchylnost vniku praskliny. Risk praskliny též způsobuje růst křehké intermetalické vrstvy v pájeném spoji[16]. Praskliny v pájeném spoji mohou nadále elektricky fungovat ale postupem času, příčinou znečištění nebo oxidací praskliny dojde k úplnému selhání pájeného spoje.



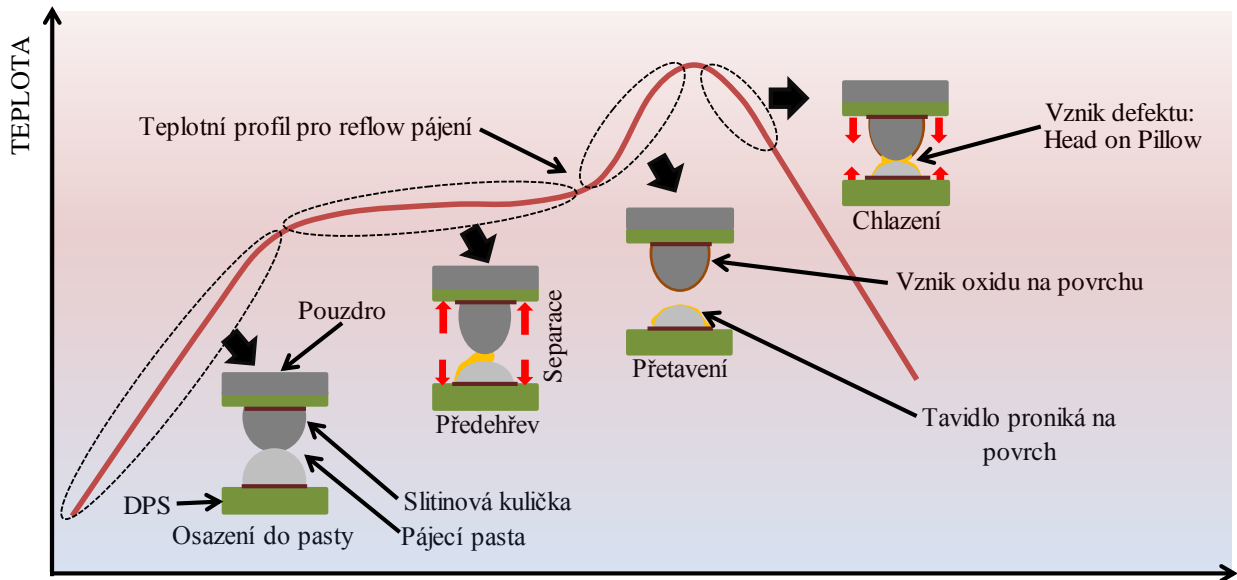
Obr. 8: Vyobrazení praskliny pájeného spoje[17]

3.3 Head on Pillow

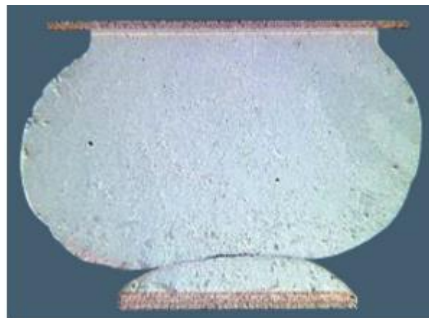
Defekt nazývaný v anglické terminologii Head on Pillow (“Hlava na polštáři“) se začal častěji projevovat s přechodem na bezolovnaté pájky. Ty se vyznačují menší smáčivostí oproti pájkám olovnatým. Projev je typický pro reflow pájení. Na obr. 10 je pájený spoj s daným defektem následně upraven výbrusem. Defekt nastává u pouzder, které mají osazené kuličky pájecí slitiny, a tento celek se usazuje do pájecí pasty, která je nanášena na pájecích ploškách DPS. Jednou z možných příčin může být prohnutí pouzdra nebo DPS. Dosavadní trend neustálé miniaturizace klade důraz na ztenčování pouzder a nosných DPS jenž má za následek zvýšení pravděpodobnosti prohýbání při reflow pájení. Pro další možnosti lze zvolit vhodnou velikost zrn pájecí pasty, aby došlo k nanesení definovaného a reprodukovatelného objemu přes otvory v šabloně na pájecí plošku.

Vznik nastává v počáteční fázi, kdy dojde k separování pájecí pasty a BGA kuličky fixované k pouzdru. Jedná se o několik příčin, které lze zahrnout. Hlavní z nich jsou prohnutí DPS, pouzdra nebo nedostatečné množství pájecí pasty. Však tento následek způsobí oxidaci pájecí kuličky připojené na pouzdro. Nanášená pájecí pasta začne smáčet pájecí bod na DPS a obsažené tavidlo postupně odstraní oxidy z pájecí slitiny, kontaktu a chrání povrch před další oxidací. Při obnovení kontaktu v pozdější fázi v peci se pájecí kulička a pájecí pasta již nespojí (neslíjí). Takto vytvořený spoj bývá elektricky vodivý, ale po mechanické stránce je velice nespolehlivý. Neboť při minimálním mechanickém namáhání nebo pnutí spoje dojde

k poškození a je přerušena elektrická vodivost. Tento defekt lze lokalizovat optickou kontrolou nebo použitím rentgenové analýzy. Někdy je tento defekt způsobený nevhodným nastavením pájecího profilu v reflow peci.[18] Nákres vzniku defektu Head on Pillow na obr. 9. při vzniku u reflow pájení.



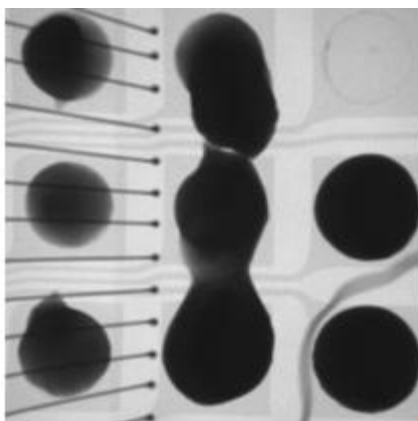
Obr. 9: Nákres vzniku defektu nazývaného Head on Pillow[19]



Obr. 10: Výbrus pájeného spoje na BGA s defektem Head on Pillow[20]

3.4 Zkratky

Prevence vzniku a předcházení této chyby je velice důležitá neboť v častých případech způsobuje nefunkčnost zařízení. Analýza je prováděna optickou nebo rentgenovou kontrolou. Přičemž rentgenová kontrola dokáže odhalit podstatnou část defektů pod pouzdem BGA které nejsou viditelné optickou kontrolou. Ukázka snímku na obr. 11 kde zobrazený zkrat ve středové části tří pájecích kontaktů. Provedení elektrického testování při výskytu této chyby může způsobit trvalé poškození obvodu nebo připojených součástek. Mezi nezbytné prevence lze zahrnout optimální nastavení teploty pájecího profilu a volba vhodného tavidla. Dále kontrolovat případné vyosení šablony pro šablonový tisk vůči DPS nebo chybu naneseného množství pájecí pasty a při poškození pájecí masky a odhalení měděných vodičů na které se může pájka rozlít. Neposlední řadě také delaminace DPS nebo BGA pouzdra. Pokud není některá z těchto příčin vzniku dodržena, může dojít k rozliti pájky do zkratového můstku.



Obr. 11: Rentgenový snímek zkratu pod BGA pouzdem[21]

3.5 Delaminace substrátu

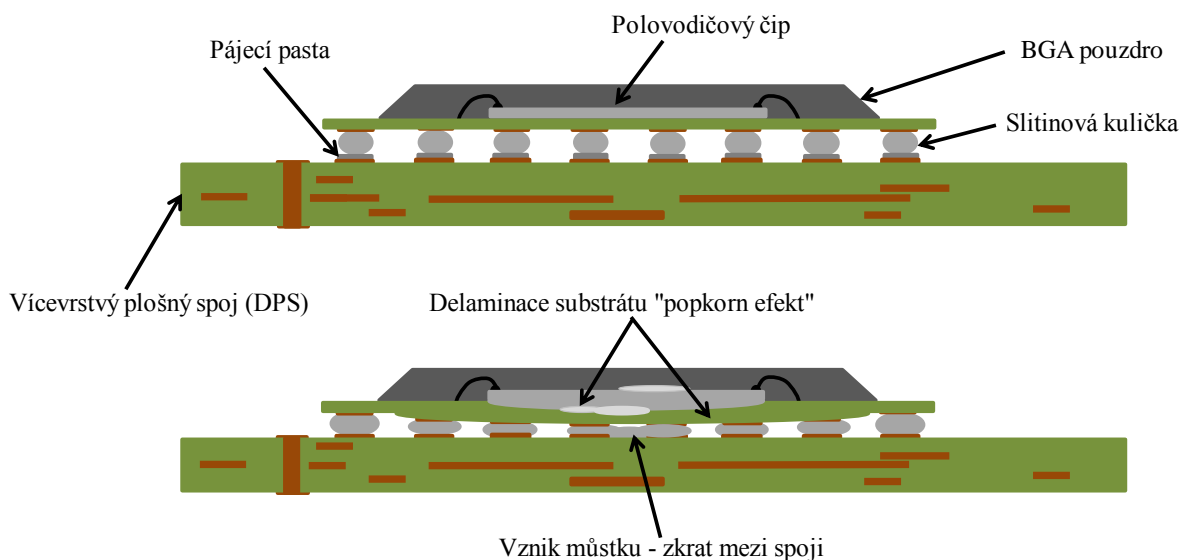
Projevuje se převážně u hydrofilních materiálů v elektrotechnice které jsou v procesu vystaveny vysoké teplotě. V opravárenství je hlavní projev u pouzder vyrobených z plastických hmot a DPS. Neboť hlavní podíl běžně dostupných pouzder je vyroben z plastu. Mezi hlavní výhody tohoto materiálu se řadí nízké vstupní náklady, zvládnutá technologie zpracování a neposlední řadě také nízká hmotnost.

Problém nastává u navhavitosti použitých materiálů. Okolní vlhkost je střežována do BGA pouzdra a DPS. Pro základní materiál desky plošného spoje FR4 není tento jev tak častý, ale navhavitost se více projevuje u opravených desek které byly staršího data výroby a dlouhodobě vystaveny vlhkému prostředí. To se projevilo při reflow pájení když se pouzdro začalo rychle ohřívat a vedlo to ke změně skupenství absorbované vody v pouzdru. Plyná fáze vody se projevuje vysokým tlakem v pouzdru a nastává delaminace nebo trhлина. Jev je také

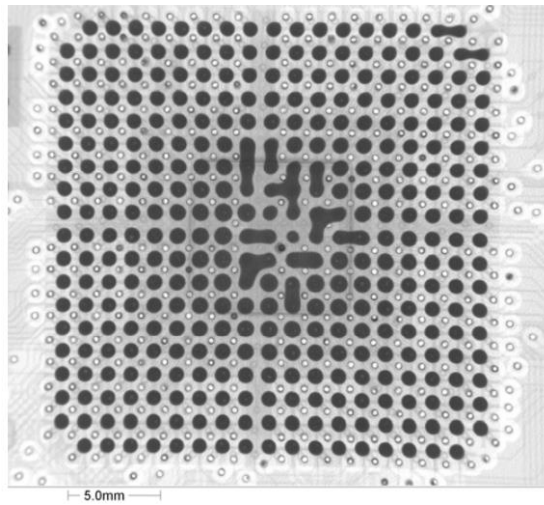
někdy nazýván “popcorn efekt“. Nákres defektu je na obr. 12. Častý projev nastává u teplot vyšších jak 210°C kdy se situace stává kritickou. Stejný jev jak u pouzdra změnou skupenství absorbované vody může nastat i u DPS.[12]

Problém můžeme eliminovat vhodným balením pouzder při transportu a skladování. Jedná se o ESD obaly u kterých je odsátá část atmosféry a poté jsou hermeticky uzavřeny. Do tohoto balení se přikládá silika gel pro pohlcení vnitřní vlhkosti a indikátor vlhkosti. Při rozbalení je důležité dodržet dobu zpracování dle MSL – úroveň citlivosti vlhkosti (Moisture Sensitivity Levels). Pokud tyto pouzdra nejsou v daném časovém intervalu zpracovány musí následovat přesušení pouzder které je definováno v normě. Všechny DPS před opravou jsou předsušeny po dobu 18 hodin na teplotu 60°C při minimální relativní vlhkosti. Tímto sušením eliminujeme delaminaci při opravě desky procesem pájení.

Delaminace součástky nebo DPS má za vznik zkratový můstek mezi sousedními spoji. Tento projev vzniká hlavně změnou geometrie pouzdra když dojde k vyboulení z roviny a tím porušení komplanarity DPS. Kuličky z pájky se tímto rozlijí do větší plochy a může se stát že nastane spojení do můstku a tím se následně vytvoří zkrat. Zobrazený jev rengenovým snímkem na Obr. 13 kde ve středové části jsou patrné můstky vznikem delaminace.



Obr. 12: Nákres vzniku delaminace s vlivem na vznik můstku mezi spoji[22]



Obr. 13: Rentgenový snímek zkratu (můstky) zapříčiněno delaminací pouzdra[23]

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro opravy již osazených desek plošných spojů jsou využívány méně rozšířené a známé technologie z důvodu nedostatku místa okolí opravovaných komponentů na DPS. Opravované BGA komponenty jsou umístěny v těsné blízkosti pasivních součástek. Mezi ně se nejčastěji řadí rezistory a kondenzátory, ale mohou být i jiné dle typu a funkce opravovaného BGA komponentu. Proto není možné použití síťotisku nebo šablonového tisku, který je běžně používán pro osazování nových DPS na výrobních linkách.

V první části práce je popsána metoda nazývaná dispenzování (dávkování) tavidla nebo pájecí pasty na předem definovaná místa přes tenkou trysku neboli jehlu nazývanou kapilára. Mezi hlavní výhody lze zařadit dávkování na místa v blízkosti komponentů s rozdílnou zástavbovou výškou nevhodné pro aplikace látky jinými metodami. Například v blízkosti filtračních elektrolytických kondenzátorů, části EMC stínění a napájecích konektorů. Dále je možné vytvářet různé geometrické obrazce z tavidla nebo pájecí pasty a tím lze upravovat i nanesené množství na dané pozice. V praktické části je použito dávkování řízené analogovým dispenzerem u kterého se nastavuje nanesené množství působícím tlakem do kapiláry po zvolenou časovou konstantu.

Další metoda se nazývá dipping (ponožování). U této metody je nejprve vytvořena definovaná tenká vrstva z tavidla nebo pájecí pasty. Do této vrstvy jsou částečně ponořeny pájecí kontakty a po následném vyjmutí je na kontaktech vytvořena tenká vrstva z dané látky. Zvolené metody jsou blíže popsány a vysvětleny v následujících kapitolách.

Pro tavidla bylo zvoleno alternativní pojmenování α a β . Vybrané tavidla jsou dodávána v kartuši která je vhodná pro metodu dippingu. Tavidlo α je označeno typem ROL1 - na bázi přírodní pryskyřice s mírnou aktivací halidů a tavidlo β označeno typem ROL0 - na bázi přírodní pryskyřice bez aktivace halidů. Obě tavidla se vyznačují béžovým zbarvením u typu α vykazující celistvou strukturu. U typu β jsou zřetelné malé plynové bubliny v objemu tavidla, které mohou být způsobeny složením tavidla nebo nedostatečným promícháním již při jeho výrobě a plnění do kartuše.

Vyhodnocování testovaných vzorků probíhalo na rentgenovém zařízení s následným vytvořením snímků pro další zpracování a vytvoření experimentální části práce. Bylo použito rentgenové zařízení od společnosti Nordson s typovým označením DAGE XD7600NT Ruby FP s následným otestováním elektrické funkce u úspěšně zapájených vzorků.

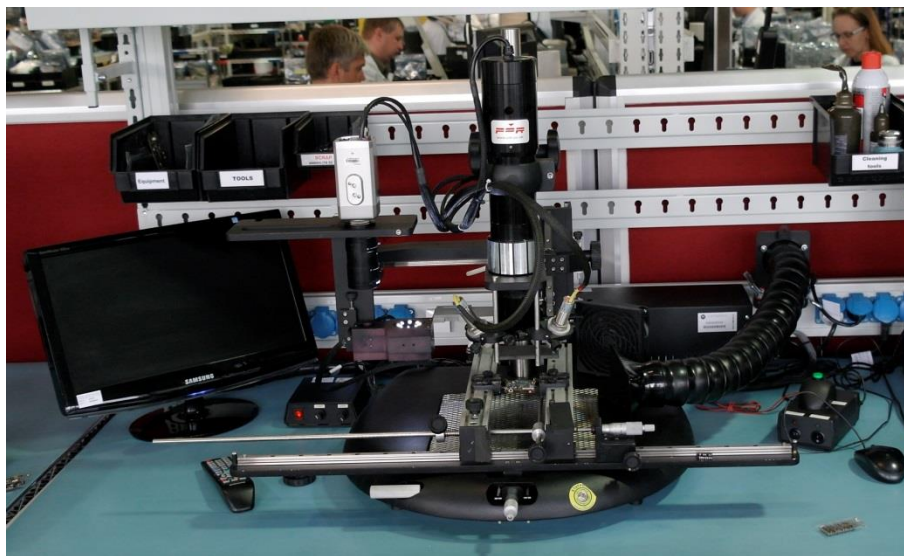
4.1 Stávající řešení procesu

Proces výměny BGA komponentu probíhá na oddělném a ohraničeném pracovišti v ESD zóně. Výměna BGA komponentu je zde prováděna pouze proškolenými operátory.

Po přijetí desek na pracoviště s označeným vadným BGA komponentem následuje umístění do vysoušecího kabinetu. Kde jsou desky vysoušeny po dobu 18 hodin při teplotě 60 °C s relativní vlhkostí do 1 %. Tímto je minimalizováno riziko delaminace substrátu při procesu pájení. Pokud nejsou desky po cyklu vysušení převzaty na opravu, následně se přesouvají do udržovacího kabinetu se stálou teplotou 23 °C a maximální relativní vlhkostí 1%.

Po vyjmutí desky z kabinetu následuje umístění do servisní stanice PDR XT5P vyobrazené na obr. 14. Stanice je vybavena dvěma předehřevy. Dolní předehřev je v podobě středovlnného IR zářiče zkonstruovaného ze skleněných trubíc a horní ohřev v podobě krátkovlnného lampového IR zářiče umístěného v tubě se soustavou čoček pro zaměření paprsku pouze na vadný komponent, aby bylo omezeno teplotní namáhání s případným teplotním stresem okolních komponentů a DPS.

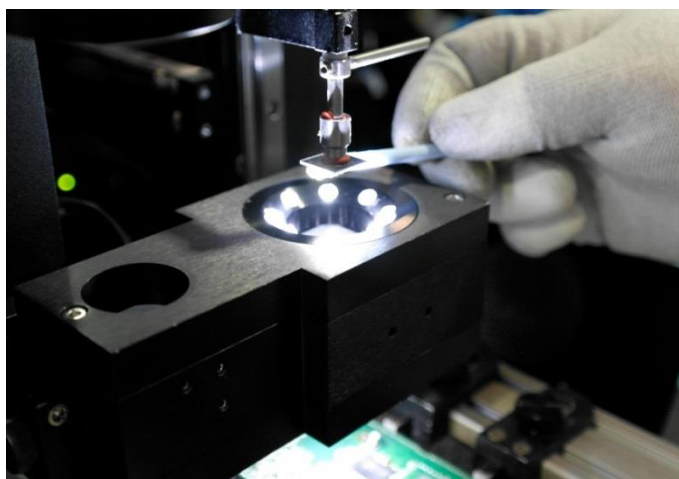
V servisní stanici jsou umístěny dva bezkontaktní IR senzory teploty. První senzor je nastaven na snímání teploty DPS a druhý senzor snímá teplotu pájeného BGA komponentu. Následuje výběr nastaveného teplotního profilu pro odebrání podle typu opravované DPS a BGA komponentu se zaměřením paprsku vrchního IR zářiče.



Obr. 14: Pracoviště se servisní stanicí PDR XT5P

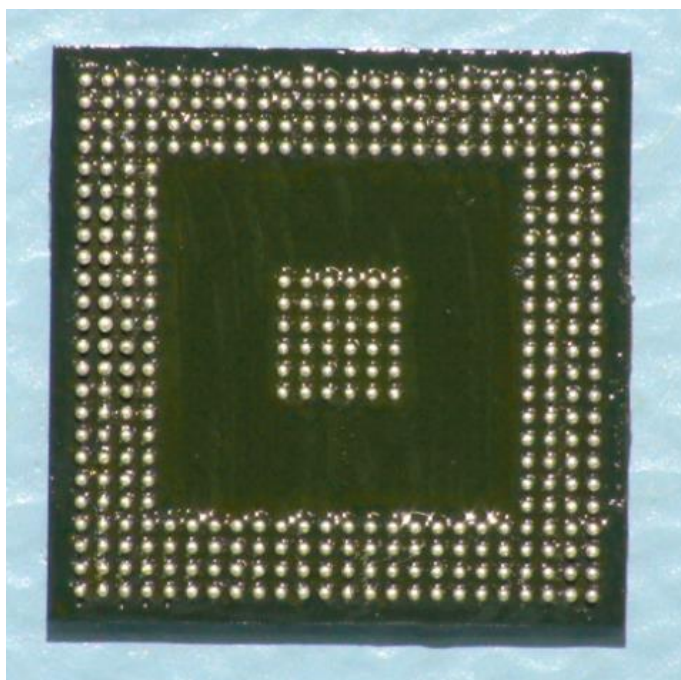
Následující operací se provádí kontaktní čištění zbytku původní pájky. Čištění je prováděno použitím měděného odsávacího knotu a speciálního plochého nástavce pájecího hrotu. Při této kritické operaci může nastat porušení nepájivé masky nebo poškození pájecí plošky od DPS. Pokud k takovému poškození dojde, musí se do postupu přidat proces opravy plošky a nepájivé masky a to jen v případě, že opravu je možné provést v souladu s normou.

Po úspěšném předchozím procesu je deska umístěna zpět do servisní stanice. Následně se nový BGA komponent umístí do vakuového držáku, kde je zafixovaný proti nahodilému pohybu a provádí aplikace tavidla s použitím aplikátoru ve tvaru plastové tyčinky, na jejímž konci je fixována vata ve tvaru kapky. Gelové tavidlo s typovým označením α se nanáší ručně na kulové kontakty BGA pouzdra vyobrazeno na obr. 15. Provádění této operace je závislé na zkušenostech a dovednostech daného operátora.



Obr. 15: Ruční aplikace tavidla na BGA komponent

Při nanesení malého množství tavidla se může projevit nepropojenými kontakty někdy nazývané studené spoje a při nanesení velkého množství může způsobit posunutí pouzdra tvz. zaplávání nebo-li posun pájených kontaktů s BGA pouzdrům oproti pájecím ploškám na DPS na pozici mimo matici kontaktů. Z tohoto důvodu není vhodný stávající proces nanášení tavidla z dlouhodobého pohledu, a proto je důležité optimalizovat tuto operaci. Aplikace tavidla po ručním nanesení je zobrazeno na obr. 16. Kde je pouzdro o velikosti 14 x 14 mm s maticí vývodů o rozteči 500 μm s 356 osazenými kulovými kontakty o průměru 300 μm .



Obr. 16: Ruční aplikace tavidla na BGA pájecích kontaktech

Následuje optické sesouhlasení kulových vývodů BGA komponentu s pájecími ploškami u opravované DPS. Posun je prováděn jemnými mechanickými mikro posuvy, kterými je vybavena servisní stanice PDR. Poté je provedeno usazení pájecích kulových kontaktů pouzdra na pájecí plošky u DPS.

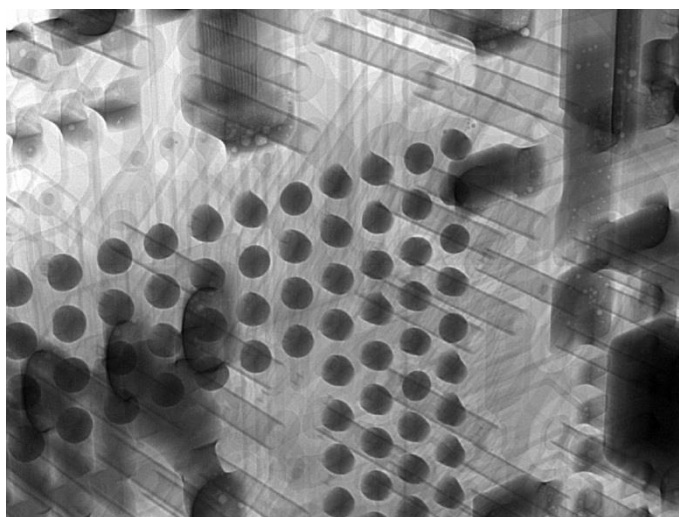
Následně se vybere přednastavený pájecí profil dle typu opravované DPS a BGA komponentu. Proveďte se zaměřením paprsku vrchního IR zářiče na opravovaný BGA komponent a po úspěšném sesouhlasení je provedeno zapájení BGA komponentu.

Byl proveden test pro 15 vzorků s vyhodnocením na rentgenovém zařízení a následným elektrickým testem komponentů bez analyzovaných defektů. Aplikace tavidla probíhala ruční metodou. Přehled výsledků je v Tab. 2 kde byly na rentgenovém zařízení analyzovány u tří vzorků studené pájené spoje a u jednoho zkrat mezi pájenými kontakty z testované sady vzorku.

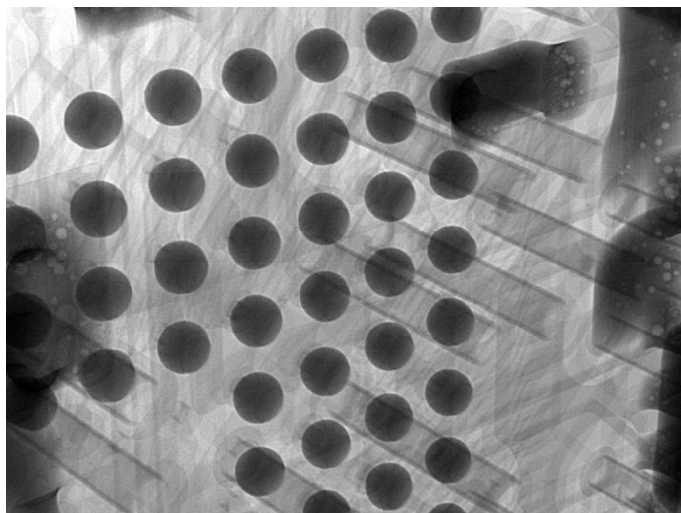
Tab. 2: Tabulka vzorku pro ruční aplikaci tavidla α

Pořadí vzorku	Vyhodnocení	Důvod/Poznámky
1	✓	-
2	✓	-
3	✓	-
4	✓	-
5	✗	výskyt studených spojů
6	✗	výskyt studených spojů
7	✓	výskyt voidu
8	✗	Zkrat mezi kontakty
9	✓	-
10	✗	výskyt studených spojů
11	✓	-
12	✓	-
13	✓	-
14	✓	-
15	✓	-

Ukázky defektu studených spojů jsou vyobrazeny na rentgenových snímcích na obr. 17 a obr. 18. U několika kontaktu při procesu pájení přetavením nedošlo smáčení plošek na DPS. Tento jev může být způsoben více vlivy. Mezi hlavní lze zařadit nedostatečné množství naneseného tavidla po ruční aplikaci nebo poruchu koplanarity pájecích plošek na DPS vlivem dlouhodobě působící okolní vlhkosti.



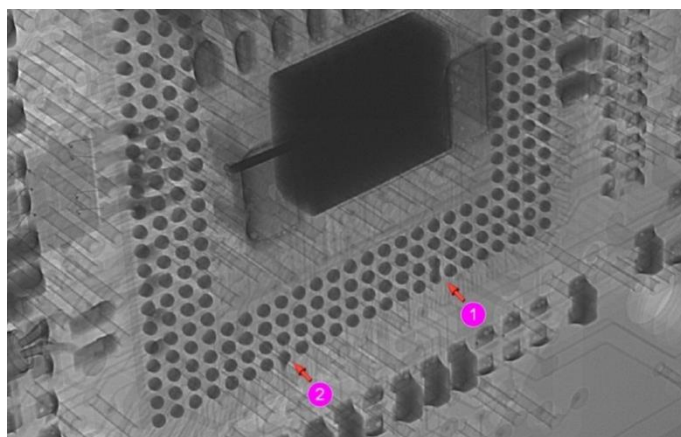
Obr. 17: Vzorek č. 5 po ručním nanesení tavidla α s výskytem studených spojů



Obr. 18: vzorek č. 6 po ručním nanesení tavidla s výskytem studených spojů

U vzorku číslo 8 na obr. 19 kde je označení provedené šipkou s číslem 1 a s viditelným zkratem mezi sousedními pájenými kontakty. Možná příčina chyby je způsobena operací kontaktního ručního čištění.

Při této operaci nastalo poškození pájecí masky s jejím následným odstraněním. Na vzniklých místech zůstaly odhaleny nechráněné měděné cesty. Při procesu pájení přetavením se pájka začala roztékat po této odhalené mědi, kde následovalo slití roztavené pájky se vznikem elektrického spojení v tomto případě zkratu. Ochranná nepájivá maska byla částečně odstraněna i u pájecí plošky označeného šipkou s číslem 2. Kde nastalo odstranění nepájivé masky u části měděné cesty přímo napojené na tuto pájecí plošku s následným projevem částečné deformace kulového kontaktu, který se rozlil po této odhalené cestě.



Obr. 19: Vzorek č. 8 po ručním nanesení tavidla α se zkratem ve spodní části

4.2 Dispenzování

V elektrotechnice je metoda využívána pro nanášení lepidel, tavidel, pájecích past, izolačních a zalévacích hmot. Dávkovaná látka pro dispenzery je dodávána od výrobce v normovaných kartuších. Jedná se o válcovou nádobu, kde se jeden konec má zakončení komolého kuželu nebo kulového vrchlíku se závitem pro upevnění dávkovací trysky. Druhá strana je otevřená s bočními zámky pro připevnění hlavice od tlakové hadice z dispenzeru. Z této strany je také uvnitř od výrobce umístěn pohyblivý píst proti nahodilému unikání a zasychání dávkované látky při transportu, skladování a následné aplikaci.

Praktické části je testováno využití dávkování tavidla nebo pájecí pasty pro BGA komponenty, ale je možné jí využívat i pro konektory a dávkování jiných látek přímo na DPS s možností vytváření různých obrazců a plošných tvarů dle požadavků. Řízení probíhá použitím dispenzeru a dávkované množství může být upravováno typem použité dávkovací trysky pro tenké průměry nazývané kapilára.

Pro řízení množství dávkování lze využívat dvou odlišných metod. Vyšší přesnosti lze dosáhnout u zařízení využívající přesné broušené šroubovice nazývané Archimédův šroub. U této metody je nanášení množství řízeno úhlem otočení šroubovice, kdy je látka dávkována. Však vysoké vstupní náklady jsou hlavní překážkou rozšíření tohoto typu zařízení. Častěji se využívá metoda řízená analogovým dispenzerem u kterého je nanášení množství řízeno působícím tlakem do kartuše po nastavenou časovou konstantu. Nanášené množství je možné dále upravovat tvarem a průměrem použité trysky.

Mezi nejrozšířenější typy trysek patří celokovové a celoplastové provedení nebo kombinace plastového těla se závitem a dávkování probíhá přes integrovanou ocelovou nebo teflonovou kapiláru. Dle různých výrobců lze používat trysky ve tvaru kapilár nebo komolého kuželu s možností různých dostupných délek. Na trhu jsou dostupné i provedení kapilár se zahnutím pod různými úhly.

Řízení polohy probíhá využitím výpočetní techniky a plotteru pro přesné navádění na určené pozice. V programu jsou uloženy souřadnice pozic a rychlost posuvu se startem a následným ukončením dávkování látky. Řízení dávkování pro nanášené množství byl použit analogový dispenzer s typovým označením TS9150.

Ukázka pracoviště na obr. 20 kde v levé části je viditelný analogový dispenzer. Ve středové části pracovní desky jsou připevněny fixační držáky pro BGA komponenty a opravované typy DPS. Byly otestovány dva typy tavidel a bezolovnatá pájecí pasta.



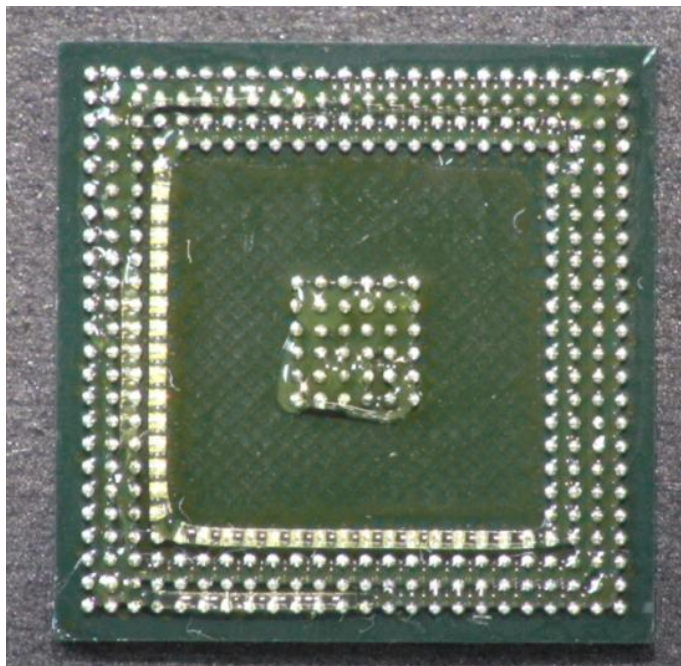
Obr. 20: Testovací pracoviště s dispenzerem

4.2.1 Dispenzování tavidla

Testovaná tavidla se vyznačují gelovitou konzistencí. Při nastavení tlaku na analogovém dispenzeru na velikost 2,7 bar. Zvolením tenké kapiláry bylo možné docílit opakovaného dávkování se stejným množstvím gelového tavidla. Tavidla se nanášela přímo na BGA komponent dodávaný s kulovými pájecími kontakty. Pro testy bylo zvoleno pouzdro o velikosti 14 x 14 mm. V maticovém uspořádání kontaktů, u kterého jsou některé kontakty vynechány s roztečí sousedních kontaktů 500 μm s průměrem kulového kontaktu 300 μm .

Řízení dávkování bylo prováděno analogovým dispenzerem. Použitý typ kapiláry s kombinací nosného plastového těla se závitem s dávkováním probíhající přes kapiláru s vnitřním válcovým průřezem o průměru 0,33mm a vnějším průměrem 0,64 mm.

BGA komponent se zafixoval v držáku proti pohybu a poté bylo provedeno vytvoření motivu z tavidla mezi kulovými kontakty na obr. 21. Tavidlo β které má obsažené malé plynové bublinky to mělo za vliv občasné projevy náhodných výpadku, při nanášení v definovaných pozicích kde byla přednastavena aplikace tavidla.



Obr. 21: Nanesené tavidlo disenserem na BGA pouzdru s optickým zvětšením 18.8x

Bylo vytvořeno 15 vzorků pro každý typ tavidla. Následujícím vyhodnocením na rentgenovém zařízení pro analyzování případných defektů pájených spojů a elektrický test u vzorků bez defektu pájených spojů. Bylo zvoleno 15 vzorků pro velký počet prováděných testovaných typu aplikace pro vybraná pouzdra. Dále z ekonomického důvodu při použití nových BGA komponentu a opravovaných desek plošných spojů pro jejich vstupní náklady. Zvolený počet vzorků byl dostačující pro stanovení směru vhodné aplikace a srovnání s ostatními metodami s ohledem na provedení následné optimalizace procesu výměny BGA a zvýšení jakosti pájených spojů.

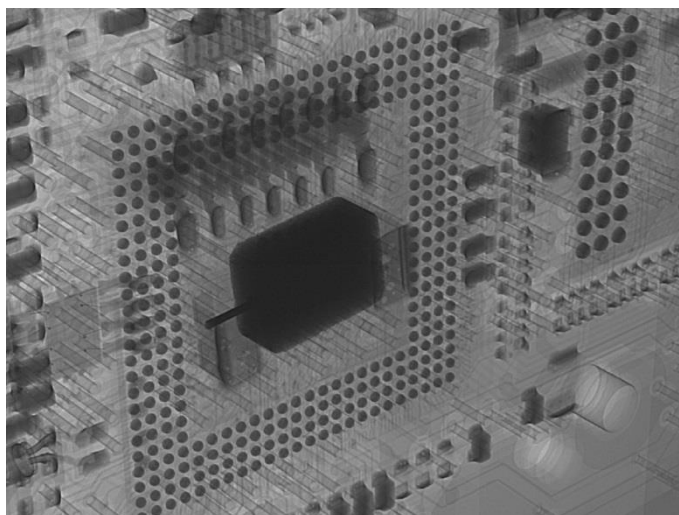
4.2.2 Vyhodnocení vzorku pro tavidlo α

Po analýze v rentgenovém zařízení a následném provedení elektrických testů byla zjištěna maximální výtěžnost procesu. Jednotlivé výsledky testovaných vzorků jsou shrnuty v Tab. 3 z které je viditelné že u pěti vzorků nastal výskyt voidů menších než 25% které nedeformují pájené kulové kontakty a jsou vytvořeny uvnitř pájeného kontaktu. Projev může být způsoben typem a množstvím tavidla a jejich případná redukce je možná úpravou pájecího profilu pro určený typ opravované DPS a BGA komponentu.

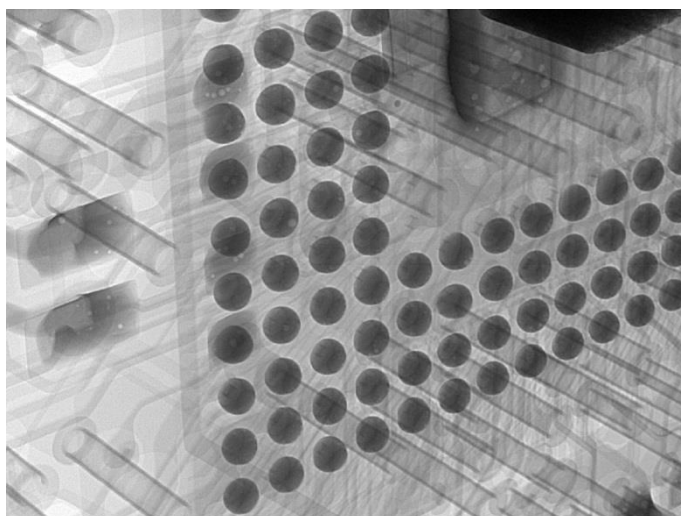
Tab. 3: Tabulka vzorku aplikace tavidla α dispenzováním pro Fine Pitch rozteč BGA komponentu

Pořadí vzorku	Vyhodnocení	Důvod/Poznámky
1	✓	-
2	✓	výskyt voidu
3	✓	-
4	✓	-
5	✓	výskyt voidu
6	✓	-
7	✓	akceptovatelná mírná deformace
8	✓	výskyt voidu
9	✓	-
10	✓	-
11	✓	výskyt voidu
12	✓	výskyt voidu
13	✓	-
14	✓	-
15	✓	-

Ukázka vhodně zapájeného pouzdra je na obr. 22. Na rentgenovém snímku je vzorek číslo 1. Z něhož je patrné že všechny kulové kontakty smáčí pájecí body a jsou vytvořena elektrická spojení mezi BGA komponentem a DPS. Nejsou viditelné žádné defekty pájeného spoje nebo zkraty. Pájené spoje mají preferovaný sudovitý tvar, který je dobře viditelný z detailu vyobrazeného na obr. 23. Na snímku jsou viditelné i malé voidy. Tento jev naznačuje dostatečné nanesené množství tavidla pro vytvoření jakostních pájených spojů.

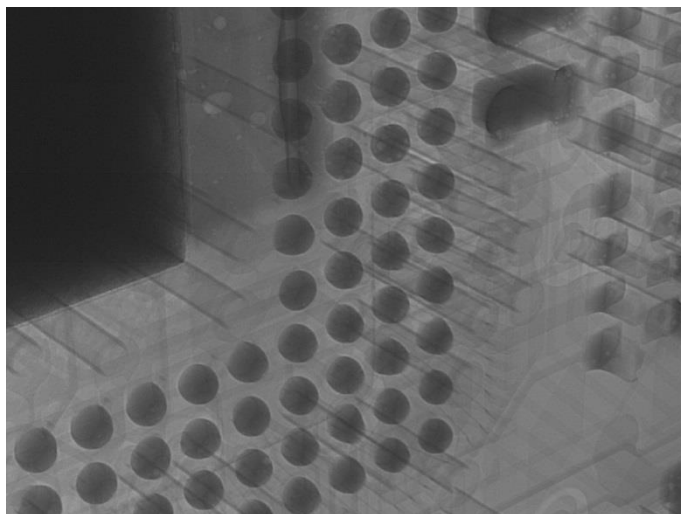


Obr. 22: Vzorek č. 1 zapájení po aplikaci tavidla α dispenzováním



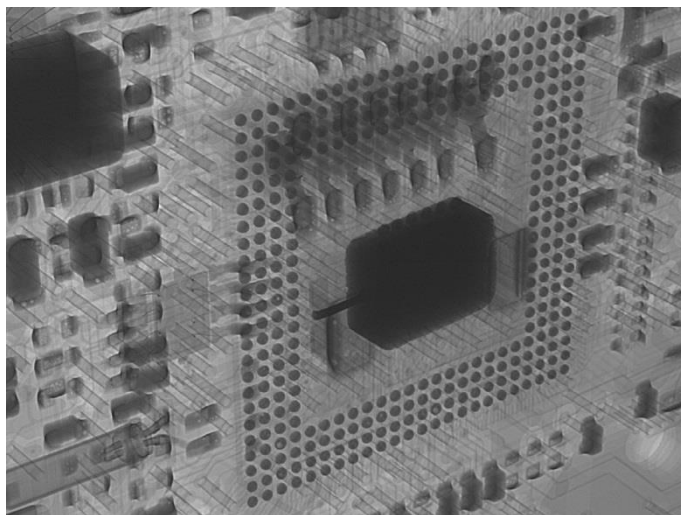
Obr. 23: Vzorek č. 1 detailním pohledem na pájené spoje aplikaci tavidla α dispenzováním

Akceptovatelný defekt se projevil u vzorku číslo 7 na obr. 24. Na rentgenovém snímku je analyzována mírná deformace pájených spojů, u kterých vzniklo protažení v dolní části BGA komponentu. Příčina může být nanesení velkého množství tavidla, které způsobilo mírné nadzvednutí BGA komponentu při procesu pájení přetavením. Ze snímku je patrné, že pájené kontakty plní elektrickou a mechanickou funkci.



Obr. 24: Vzorek č. 7 s mírnou deformací zapájený po aplikaci tavidla α dispenzováním

V procesu bezolovnatého pájení se vyskytují voidy které jsou způsobeny více vlivy, mezi které se řadí i používání agresivnějších tavidel které při pájení přetavením uvolňují těžké látky neschopné uniknout z roztaveného kovu před jeho zatuhnutím. Někdy výskyt voidu může být omezen úpravou pájecího profilu nebo typem a množstvím aplikovaného tavidla. Ukázka analyzovaného voidu ze vzorku číslo 8 na obr. 25. Zde vytvořený void v levé spodní části o velikosti 18% neovlivňující tvar pájeného kontaktu.



Obr. 25: Vzorek č. 8 zapájený po aplikaci tavidla α dispencováním

4.2.3 Vyhodnocení vzorku pro tavidlo β

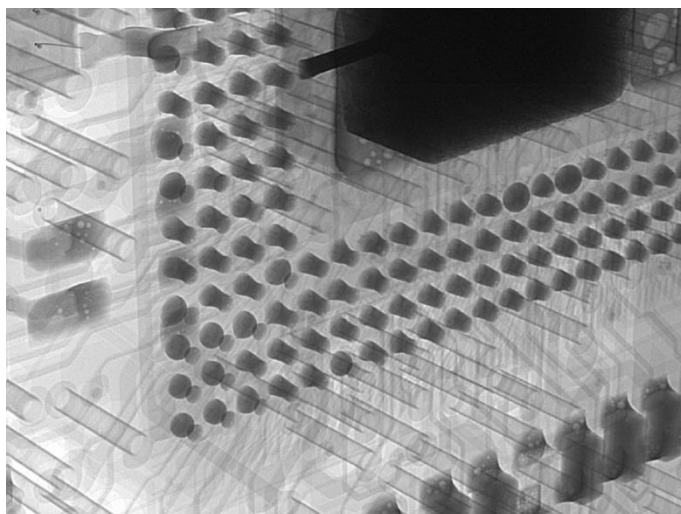
Po vytvoření série vzorku a následném analyzování na rentgenovém zařízení byly analyzovány čtyři desky s defektem. Shrnutí je uvedeno v Tab. 4 z které jsou patrné, že u dvou se projevil i výskyt voidů. Způsob dávkování a typ tavidla již není natolik vhodný pro zvolený typ BGA komponentu oproti předchozímu testovanému typu tavidla. Vybrané defekty pájených spojů jsou popsány níže.

Tab. 4: Tabulka vzorku aplikace tavidla β dispenzováním pro Fine Pitch rozteč BGA komponentu

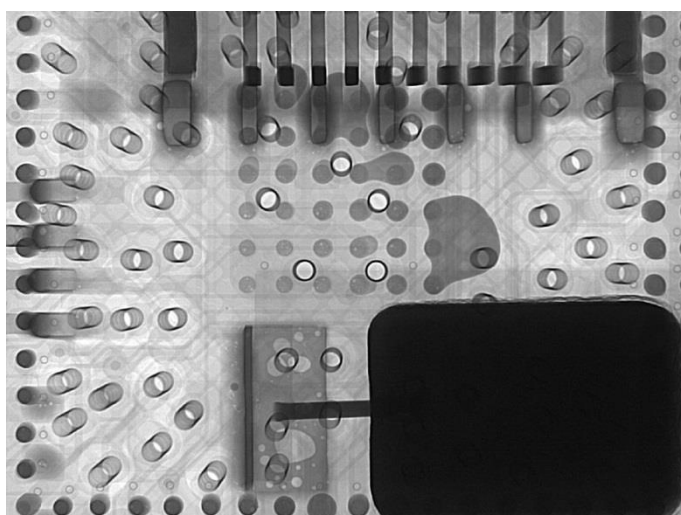
Pořadí vzorku	Vyhodnocení	Důvod/Poznámky
1		nadzvednutý čip a zkrat
2		-
3		zkrat
4		-
5		výskyt voidu
6		mírné deformace pájených spojů
7		-
8		-
9		mírné deformace pájených spojů
10		mírné deformace pájených spojů
11		nadzvednutý čip
12		výskyt voidu
13		nadzvednutý čip
14		-
15		-

Vzorek číslo 1, který je na obr. 26 je patrné protažení pájených kulových kontaktů. Některé pájené kulové kontakty v levé krajní řadě vykazují studené spoje bez elektrické funkce. Příčina je viditelná na obr. 27 z které je patrný dvojnásobný zkrat mezi pájecími kontakty ve středové části BGA komponentu. Rentgenový snímek vypovídá o projevu delaminace. Defekt by neměl v procesu nastat, neboť probíhá předsoušení desek ve vysoušecích kabinetech před procesem pájení přetavením.

Delaminace DPS zapříčinila nadzvednutí čipu a roztavená pájecí slitina ve středové matici kontaktů byla vytlačena do omezeného prostoru v okolí mezi BGA komponentem a DPS. Kde tento projev způsobil zkrat a celkové nadzvednutí BGA komponentu s následkem protažení pájených kontaktů v okrajových částech matice. Stejný defekt nastal i u vzorku číslo 11.

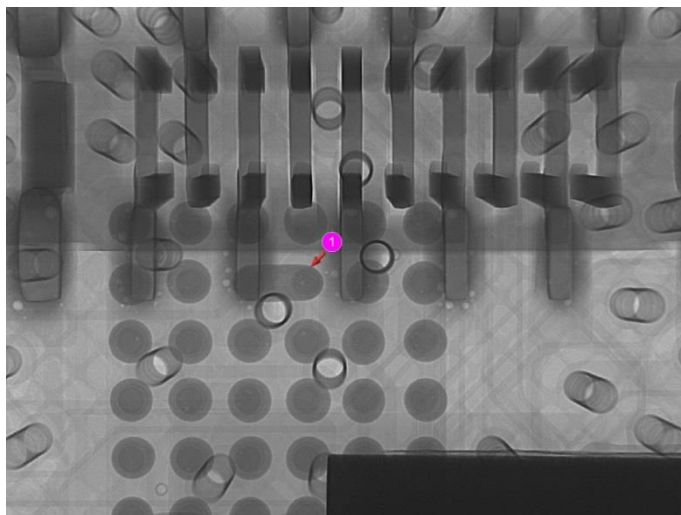


Obr. 26: Vzorek č. 1 zapájení po aplikaci tavidla β dispenzováním



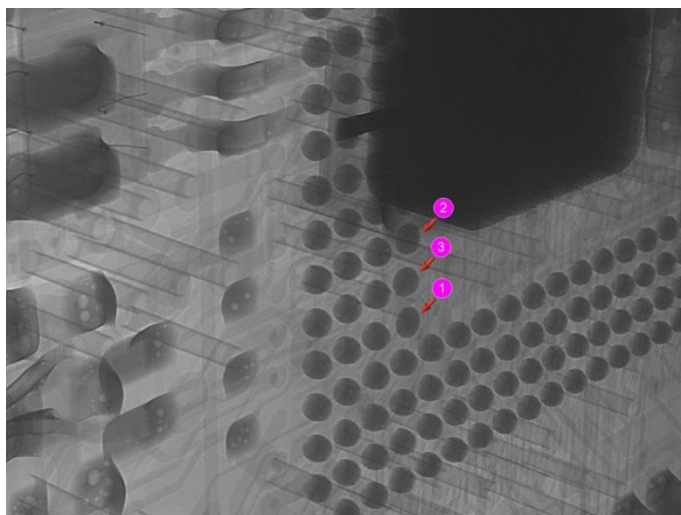
Obr. 27: Detailní pohled na vzorek č.1 po aplikaci tavidla β dispenzováním

Vzorek číslo 3 vyobrazený na obr. 28 má viditelný zkrat mezi sousedními pájenými kontakty. Příčinou této chyby je nevhodné ruční kontaktní čištění kdy byla porušena nepájkivá maska na DPS. Při procesu pájení přetavením se roztavená pájecí slitina roztekla po odhalené mědi a následně vytvořila zkrat.



Obr. 28: Vzorek č. 3 se zkratem zapájený po aplikaci β dispenzováním

Ukázka mírného akceptovatelného defektu pájených spojů na obr. 29 kde jsou na rentgenovém snímku zvýrazněny třemi šipkami. Z rentgenového snímku je patrné, že u těchto třech kulových kontaktů obsahují větší množství pájky. Příčinou může být nedostatečné odstranění původní pájky přechodí operaci kontaktního čištění. Při procesu pájení přetavením pájecí slitiny se slily a vytvořily větší kulové kontakty sudového tvaru.



Obr. 29: Vzorek č. 6 s mírnou deformací zapájený po aplikaci tavidla β dispenzováním

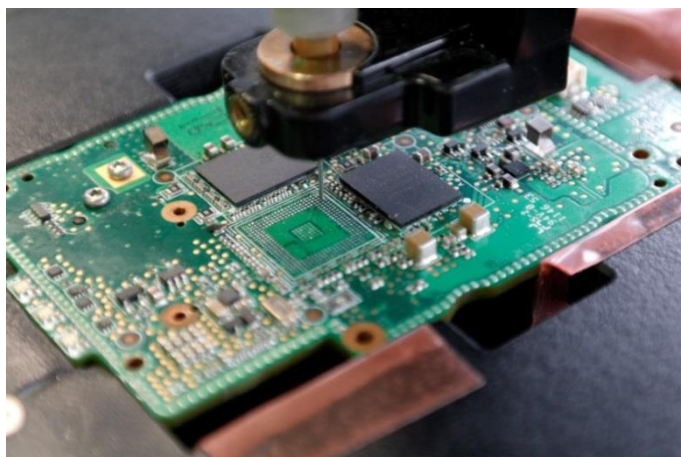
4.2.4 Dispenzování pájecí pasty

Nastavení reprodukovatelného množství pájecí pasty na určená místa bylo obtížnější oproti tavidlům, neboť se vyznačuje vysokou viskozitou. Z tohoto důvodu bylo problematické nanášení, a proto byl zvýšen tlak na analogovém dispenzeru na velikost 4,8 barů aby docházelo dávkování definovaného množství pájecí pasty.

U zvolené bezolovnaté pájecí pasty SAC 305 se složením 96,5Sn, 3Ag, 0,5Cu s 13% tavidla bylo omezení minimálního průměru použité kapiláry větší než 0,3 mm. Pro velmi malé průměry použitých kapilár již nedocházelo dávkování pájecí pasty ani při zvýšení tlaku na maximální o velikosti 6 bar. Při vysokém tlaku z kapiláry bylo vylučováno pouze obsažené tavidlo z pájecí pasty.

Testovaná pájka střídou zrnitosti 3 a s velikostí obsažených částic 25 – 45 μm . S omezením použití doporučené kapiláry výrobcem s vnitřním průměrem 0,3 až 0,6 mm. Z tohoto důvodu byla pro testy použita kapilára s kombinací plastového těla se závitem integrovanou ocelovou kapilárou s vnitřním válcovým průřezem o průměru 0,33 mm a vnějším průměrem 0,64 mm.

Dávkování pájecí pasty bylo prováděno na očištěnou DPS od původní pájecí slitiny na zvolené pájecí body pro BGA komponent. Prováděná ukázka je na obr. 30. Při metodě nanášení pájecí pasty na desku musel být použit přesný fixační držák. U BGA komponentu s roztečí sousedních pájecích bodů 500 μm to bylo nezbytné, aby dávkování pájecí pasty nedocházelo mimo matici pájecích bodů u DPS.

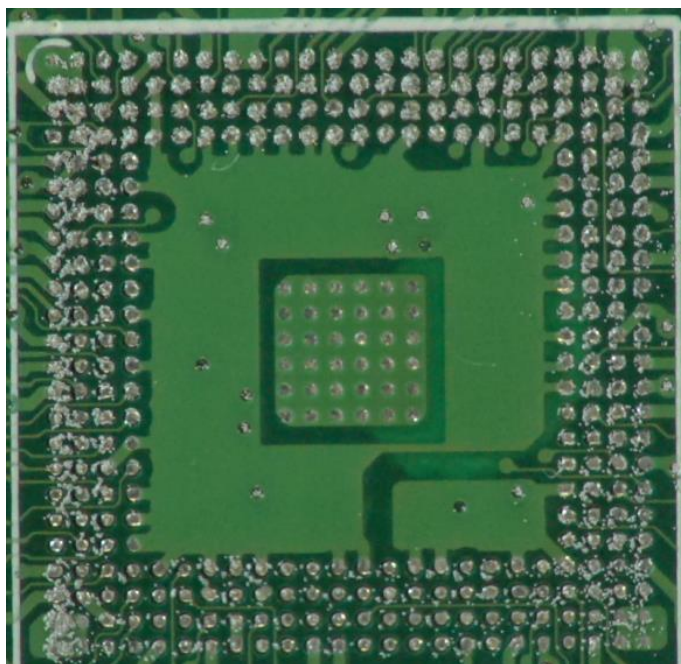


Obr. 30: Aplikace pájecí pasty na opravovanou DPS

U prvního zvoleného typu BGA komponentu s danou roztečí 500 μm u kterého byly provedeny testy vybraných tavidel však nastával problém při reprodukovatelném dávkování pájecí pasty v dostatečně malém množství na všechny pájecí body.

Použitá kapilára pro dávkování o vnějším průměru 0,64 mm však přesahovala okolí pájecích bodů, kde při provádění dávkování vznikalo znečištění pájecí pastou na DPS.

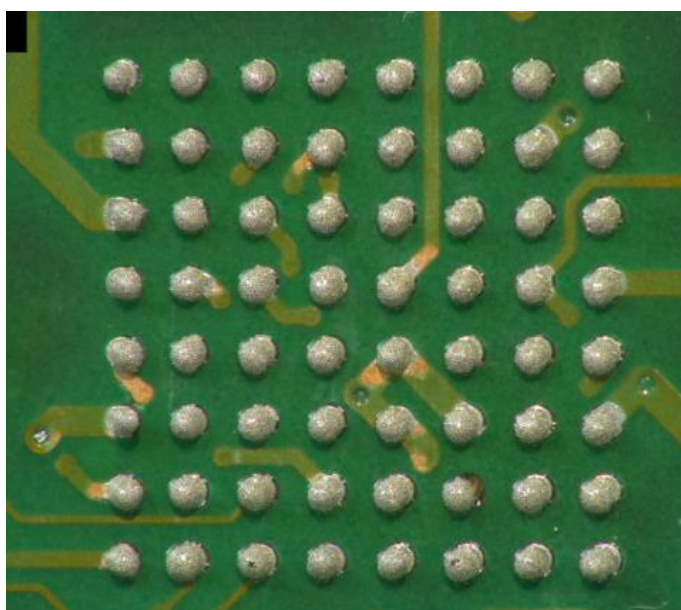
Vyobrazení vzniklého znečištění je na obr. 31. Vzniklý problém by bylo možné vyřešit použitím kapiláry o vnitřním průměru 0,2 mm nebo méně a změnou pájecí pasty z jemnějších částic označované třídou 5 nebo 6. Pro opravárenské účely tyto pasty nejsou vhodné z ekonomického hlediska pro jejich vysoké pořizovací náklady. Druhou možností je změna řízení dávkování. Testy byly prováděny s použitím analogového dispenzeru, ale pro pastu by bylo vhodné vyzkoušet šroubový dispenzer, kdy by množství pasty nebylo řízeno tlakem po časovou konstantu ale úhlem otočením dané šroubovice. Mezi další možnosti se řadí použití speciální dávkovací hlavice s integrovaným ultrazvukem.



Obr. 31: Pouzdro Fine Pitch o rozteči 500 μm mezi kontakty

Po změně typu pouzdra byly provedeny testy pro BGA komponent s vývody uspořádané v matici 8 x 8 o rozteči 1 mm a průměrem kulového kontaktu o velikosti 430 μm . Dispensování bylo prováděno na pájecí body u DPS. Vzorek nanášené pájecí pasty je zobrazen na obr. 32. U tohoto typu již bylo možné provést reprodukovatelné dávkování pájecí pasty s dostupnými technologiemi a zvolenou pájecí pastou.

Byly vytvořeny vzorky, které jsou shrnuty v Tab. 5. Po analýze v rentgenu bylo zjištěno devět neakceptovatelných vzorků s defektem. Ukázky některých defektů jsou vyobrazeny a popsány na rentgenových snímcích. Tato metoda vyžaduje přesné dávkování na určená místa při nanesení pájecí pasty, mimo pájecí kontakt nastává při procesu pájení přetavením vznik volné kuličky, které mohou vytvořit náhodné zkratky nebo rozstříky pájky.

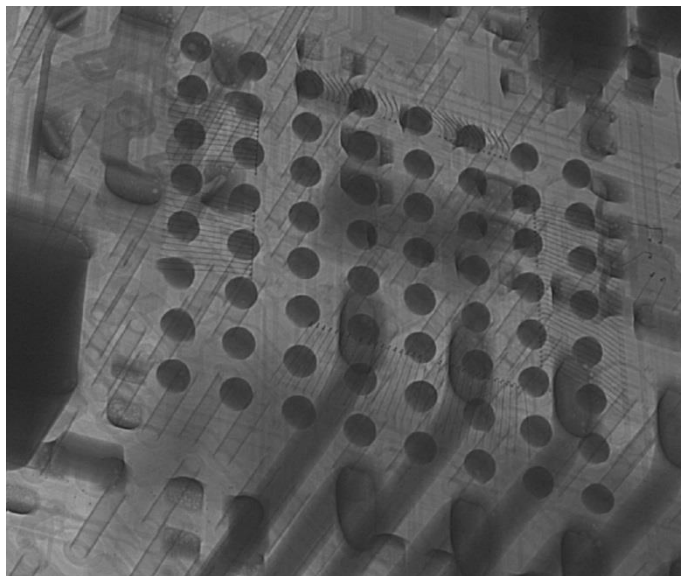


Obr. 32: Pájecí pasta dispenzována na pájecí body o rozteči 1 mm s vývody uspořádané v matici 8 x 8

Tab. 5: Tabulka vzorku aplikace pájecí pasty dispenzováním na pájecí body DPS uspořádané v matici vývodů 8 x 8 s roztečí 1 mm

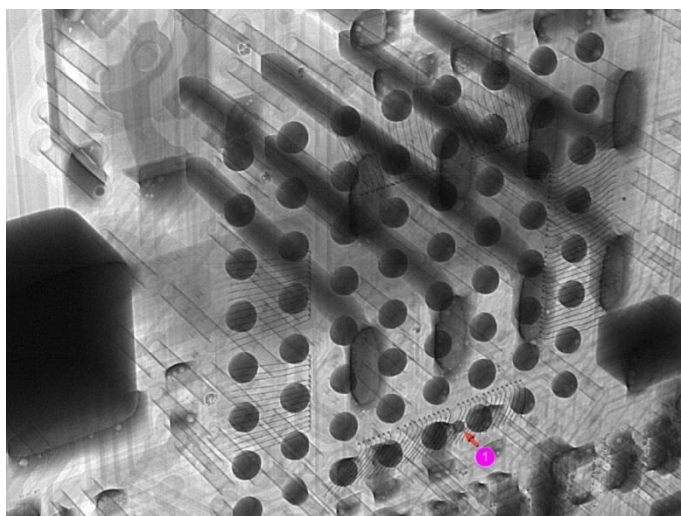
Pořadí vzorku	Vyhodnocení	Důvod/Poznámky
1	✓	-
2	✗	kulička z pájky mezi kontakty
3	✓	-
4	✗	rozstřík pájky
5	✗	poškozený kulový kontakt
6	✗	jeden kulový kontakt menší
7	✓	-
8	✗	rozstřík pájky
9	✗	deformace kulových kontaktů
10	✓	-
11	✗	prasklina kulového kontaktu
12	✗	kulička z pájky mezi kontakty
13	✗	void větší než 25%
14	✓	-
15	✓	-

Ukázka vhodně zapájeného vzorku číslo 1 je na obr. 33. Z kterého je patrné že všechny kulové splňují mechanickou a elektrickou funkci. V procesu pájení přetavením nenastaly žádné chyby a byly vytvořeny jakostní pájené spoje.



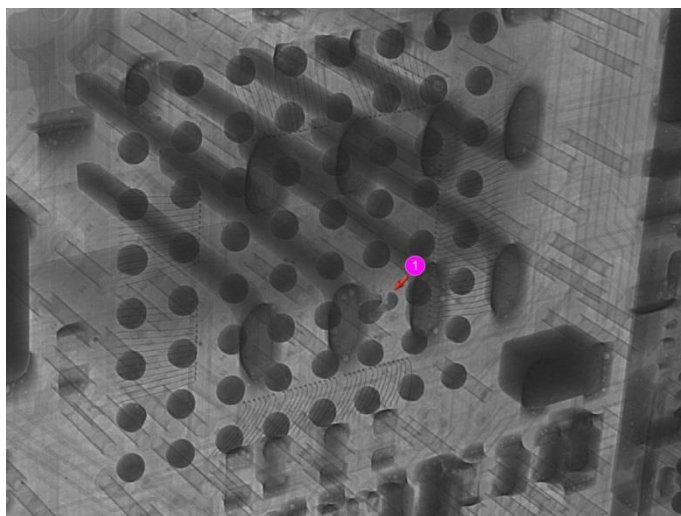
Obr. 33: Vzorek č. 1 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním

Vzorek číslo 2 po analýze na rentgenovém zařízení vykazuje volnou kuličkou tvořenou slitinou pájky. Tato chyba není dle normy IPC přípustná, neboť může způsobit náhodný zkrat mezi kontakty. Příčina nastala při aplikaci pájecí pasty na DPS. Část pájecí pasty byla aplikována mimo pájecí bod a při procesu pájení přetavením následně vytvořila volnou kuličku na nepájecivé masce DPS. Stejný defekt vykazuje vzorek číslo 12.



Obr. 34: Vzorek č. 2 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním

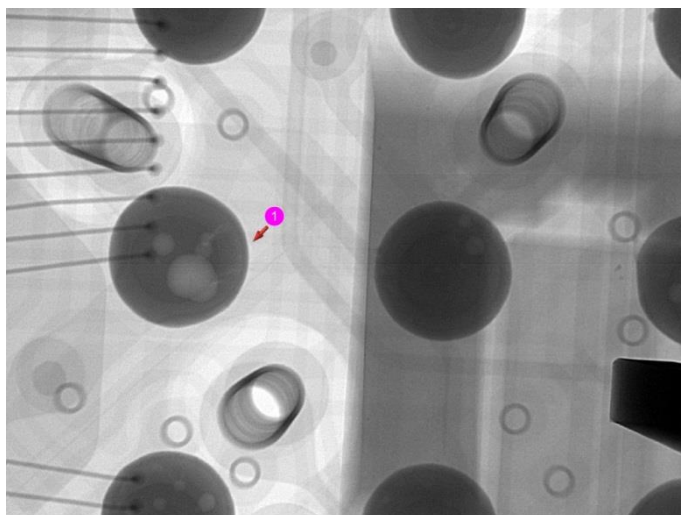
U vzorku číslo 5 na obr. 35 je šipkou označen poškozený kulový kontakt, který se rozdělil na dvě hlavní části a částečně se oddělil od pájecí plošky.



Obr. 35: Vzorek č. 5 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním

U vzorku číslo 11 na obr. 36 je viditelná prasklina pájeného spoje. Defekt může nastat u pájení přetavením v poslední fázi rychlého gradientu chlazení a vznik praskliny pájeného spoje způsobené mechanickým pnutím.

Z rentgenového snímku je patrný i vytvořený střední void který snižuje mechanickou pevnost pájeného spoje a tím i zvýšené riziko vytvoření praskliny, které nastalo.



Obr. 36: Vzorek č. 11 zapájený po aplikaci pájecí pasty dispenzováním

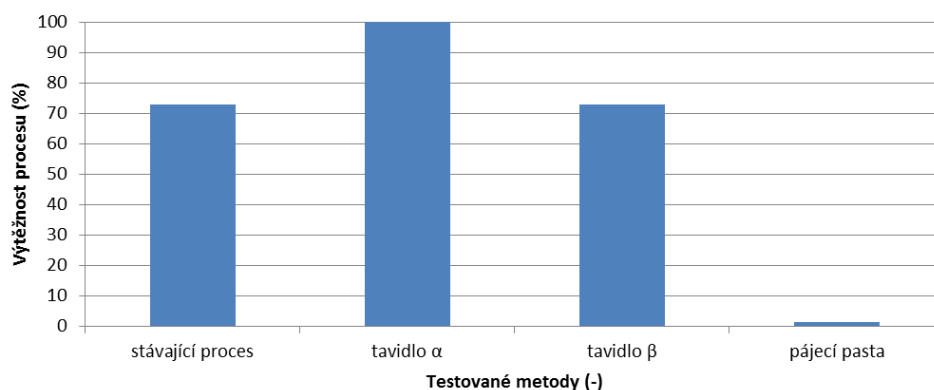
4.2.5 Vyhodnocení metody dispencování

Ve společnosti probíhá neustálá optimalizace procesu pro zvýšení výtěžnosti opravovaných typu desek plošných spojů. Ze skupiny dílčí části procesů lze zařadit výměnu vadných BGA komponentů. Kdy vznikají defekty pájených spojů nanesením nevhodného množství tavidla nebo pájecí pasty při procesu pájení přetavením. Aplikované množství lze optimalizovat výběrem vhodné metody aplikace pro následné zvýšení jakosti pájených spojů.

Byly provedeny testy 15 vzorků pro každý testovaný typ tavidla a pájecí pasty. S následným vyhodnocením na rentgenovém zařízení, na kterém byly analyzovány případné defekty pájených spojů s elektrickým testem u vzorků bez výskytu neakceptovatelných defektu. Pro samotné vyhodnocování výtěžnosti byla použita metoda nazývaná anglickým označením Yield (Y) z rovnice 1.

$$Y = \frac{\text{počet vyhovujících kusu po procesu}}{\text{počet vstupujících kusu do procesu}} * 100 (\%) \quad (1)$$

Výsledky byly zvoleny pro popisovaný a testovaný Fine Pitch BGA komponent v maticovém uspořádání s roztečí 500 μm mezi sousedními kontakty u kterého jsou některé kontakty z matice vynechány. S průměrem 300 μm osazených kulových kontaktu. Výsledky byly následně graficky znázorněny na obr. 37 se srovnáním stávajícího procesu. Z výsledku je patrné že u typu tavidla α má 100% výtěžnost a je vhodné pokračovat v testování. Dispencování pájecí pasty pro zvolené pouzdro není vhodné, neboť nebylo možné vytvořit reprodukovatelné dávkování pájecí pasty. Pro provedené testy byl zvolen BGA komponent s maticovým uspořádáním 8 x 8 kontaktů s roztečí 1 mm a velikostí kulového kontaktu o průměru 430 μm . Tento typ bude následně porovnán ve finální části experimentální práce s metodou dipping (ponožování).



Obr. 37: Graf výtěžnosti procesu pro dispencování tavidla a pájecí pasty pro Fine Pitch BGA komponent

4.3 Dipping

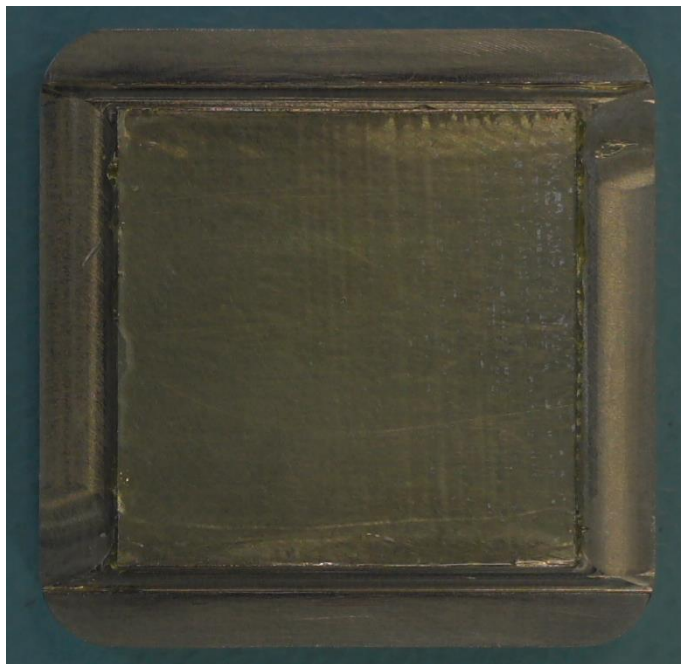
Metoda je využívána při osazování BGA komponentů u výroby nových desek tak i kde probíhá výměna vadného BGA komponentu. Jedná se o metodu, kdy jsou kulové kontakty namáčeny nebo ponořovány do vrstvy aplikační látky. Technologie je vhodná pro pouzdra s předem osazenými kulovými kontakty. Pro metodu dipping (namáčení) se používají přípravky u kterých je vybroušena rovinná plocha pro aplikaci tavidla nebo pájecí pasty. Pro testy byly použity kovové přípravky. Na kterých jsou vytvořeny ve dvou okrajích rovnoběžné vodící kolejnice pro aplikační stěrku. Sady přípravku jsou vyráběny v různých velikostech a s různými výškami kolejnic pro vytváření přesné tloušťky nanesených látek. Dle doporučení výrobců dippingových sad by vytvořená tloušťka měla být 40 – 60 % průměru kulového kontaktu z BGA komponentu. Při překročení doporučených výšek může nastat aplikace látky na celou spodní plochu BGA komponentu, nikoliv jen na kulové kontakty.

Ke stírání se používá ocelová stěrka, u které je vytvořena rovinná plocha. Vyobrazená aplikační sada je na obr. 38. Přípravek je umístěn v pravé části s naneseným tavidlem pro vytvoření rovinné plochy a v levé části je stírací stěrka.

Příprava pro dipping je rozdělena do několika kroků. Nejprve se nanese látka na okraj kovového přípravku a poté se aplikační stěrkou vytvoří rovnoměrná vrstva. Vytvořená rovnoměrná vrstva tavidla je vyfotografována na obr. 39. Do této vrstvy se následně probíhá aplikace kulových kontaktů BGA komponentu.

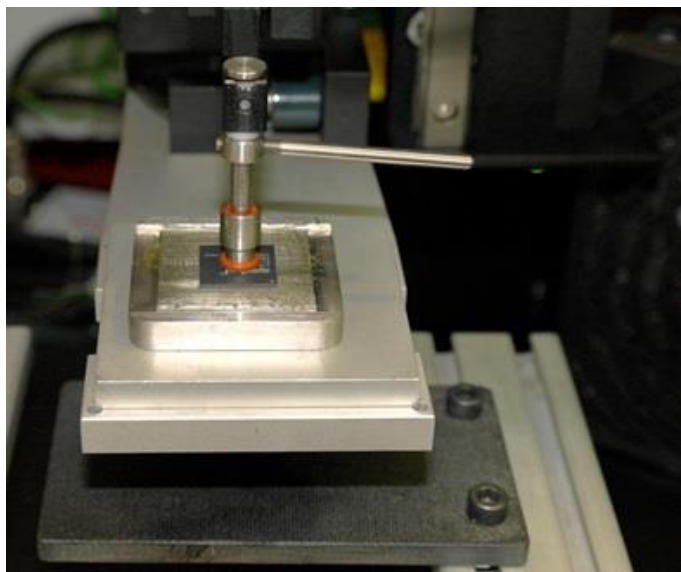


Obr. 38: Přípravek pro dipping s naneseným tavidlem a stěrka pro vytvoření filmu

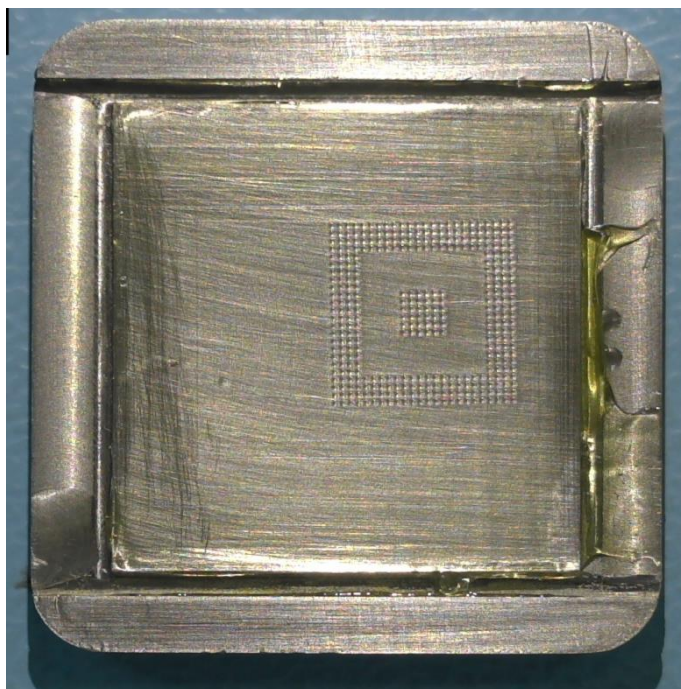


Obr. 39: Vytvořená rovinná vrstva tavidla pro dipping

Přípravek pro dipping tavidla nebo pájecí pasty byl umístěný v držáku servisní stanice PDR. BGA komponent se zafixoval ve vakuovém držáku proti pohybu v poloze nad aplikačním přípravkem. Následovalo provedení posunu fixačního držáku dolu kdy se kulové kontakty BGA komponentu ponoří do vytvořené vrstvy aplikované látky. Popisovaná operace je prováděna na obr. 40. Po přesunutí BGA komponentu do původní polohy aplikovaná látka zůstává nanesená na kulových kontaktech. Otisk pouzdra v přípravku je vyfotografován na obr. 41 z kterého jsou patrné otisky kulových kontaktu ve vrstvě tavidla.



Obr. 40: Probíhající dipping BGA komponentu v servisní stanici



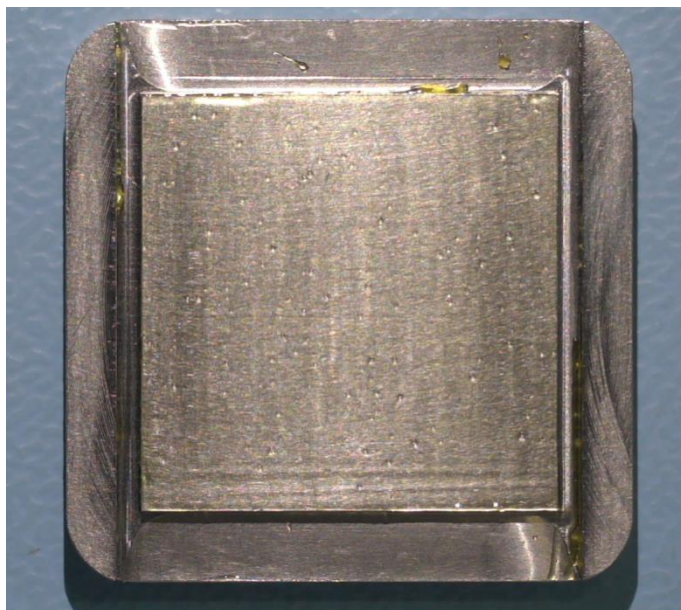
Obr. 41: Vytvořený otisk Fine Pitch BGA komponentu v aplikačním přípravku s vrstvou tavidla

4.3.1 Dipping provedený do tavidla

Nejprve byla vytvořena rovinná plocha o definované tloušťce tavidla typu α s viditelnou rovinnou plochou na obr. 42. U tavidla typu β na obr. 43 jsou viditelné malé plynové bubliny ve vytvořené vrstvě pro dipping. Tento jev se neprojevoval vlivem nedostatečné aplikace tavidla na kulové kontakty u BGA komponentu.



Obr. 42: Vytvořený film z tavidla α v aplikačním přípravku

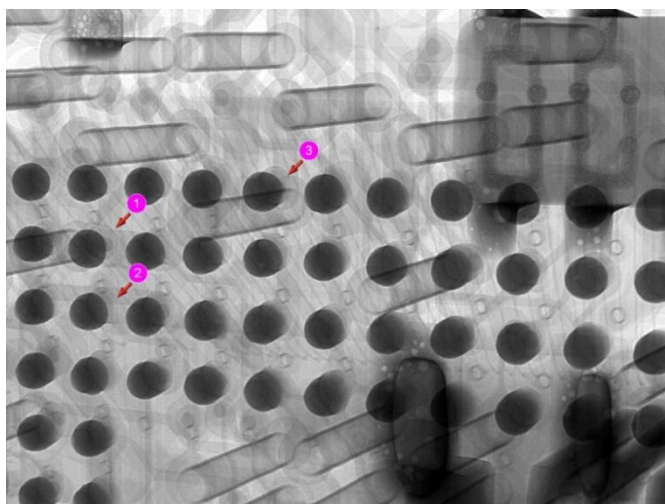


Obr. 43: Vytvořený film z tavidla β v aplikačním přípravku

4.3.2 Vyhodnocení vzorku pro tavidlo α

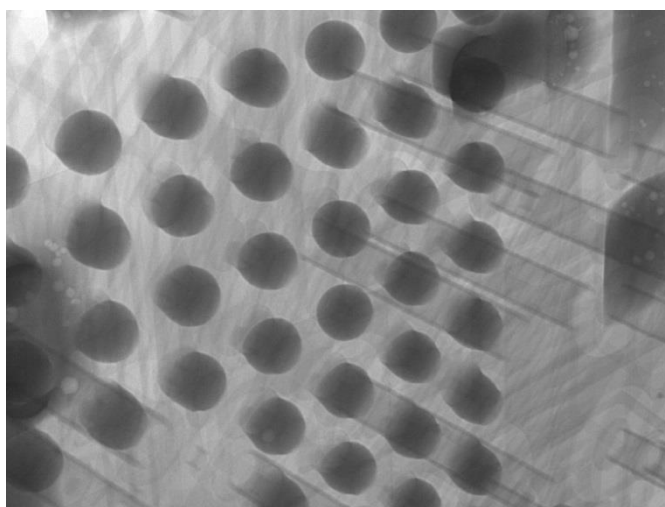
Metoda byla nejprve otestována pro Fine Pitch BGA komponent s roztečí kontaktů 500 μm s osazenými kulovými kontakty o průměru 300 μm . Aplikace probíhala do vrstvy naneseného tavidla v přípravku s definovanou výškou 200 μm . Byly provedeny první tři testovací vzorky a po následném vyhodnocení v rentgenovém zařízení byly analyzovány defekty u všech tří vzorků na studené spoje pro nedostatečné smáčení pájených kulových kontaktů. Ukázky dvou vzorků jsou vyobrazeny na rentgenových snímcích níže. Všechny tři vzorky měly analogické defekty.

Na rentgenovém snímku u vzorku číslo 1 na obr. 44 jsou šipkami označené nepropojené kulové kontakty. Tento defekt vznikl nanesením nedostatečného množství tavidla aplikací dipping, které může být způsobeno nevhodným typem tavidla pro tento typ aplikace nebo způsoben malým průměrem kulových kontaktů, kdy nebylo na plochu vývodu nanášeno dostatečné množství.



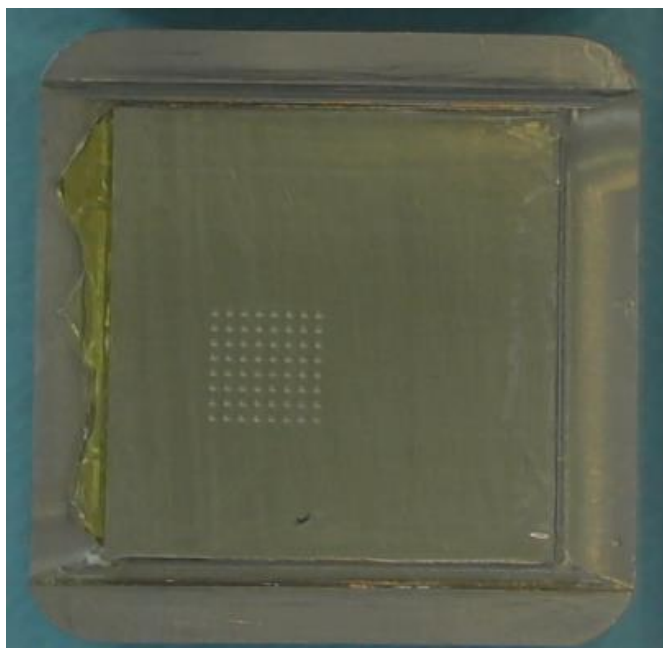
Obr. 44: Vzorek č. 1 pro BGA komponent o rozteči Fine Pitch po aplikaci tavidla α dippingem

Na rentgenovém snímku na obr. 45 s detailem pájených kulových kontaktů u vzorku číslo 2. Ze snímku je patrné že nedochází ke smáčení pájecích ploch na DPS pro nedostatečné množství naneseného tavidla.



Obr. 45: Detail vzorku č. 2 pro BGA komponent o rozteči Fine Pitch po aplikaci tavidla α dippingem

Pro další testy byl zvolen BGA komponent s roztečí kontaktů 1 mm uspořádané v matici 8 x 8 s průměrem osazených kulových kontaktů o velikosti 430 μm . Kde byl proveden test pro 15 vzorků. Pro dipping byla vytvořena vrstva naneseného tavidla v aplikačním přípravku s definovanou výškou 305 μm . Vytvořený otisk BGA komponentu na obr. 46. S následným shrnutím výsledku v Tab. 6 z které je patrné, že u šesti vzorku nastal defekt pájeného spoje na výskyt studených spojů, nadzvednutý BGA komponent a u dvou nastala mírná deformace pájených spojů. Tyto chyby jsou způsobeny nedostatečným množstvím naneseného tavidla na BGA komponent.

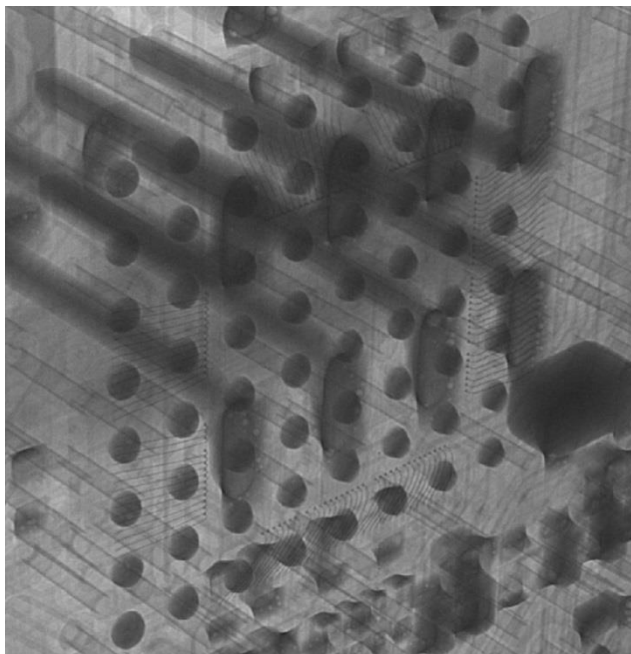


Obr. 46: Vytvořený otisk BGA komponentu s maticí vývodů 8 x 8 s roztečí 1 mm v aplikačním přípravku

Tab. 6: Tabulka vzorku aplikace tavidla α dippingem na BGA komponent s kontakty uspořádanými maticí vývodů 8 x 8 o rozteči 1 mm

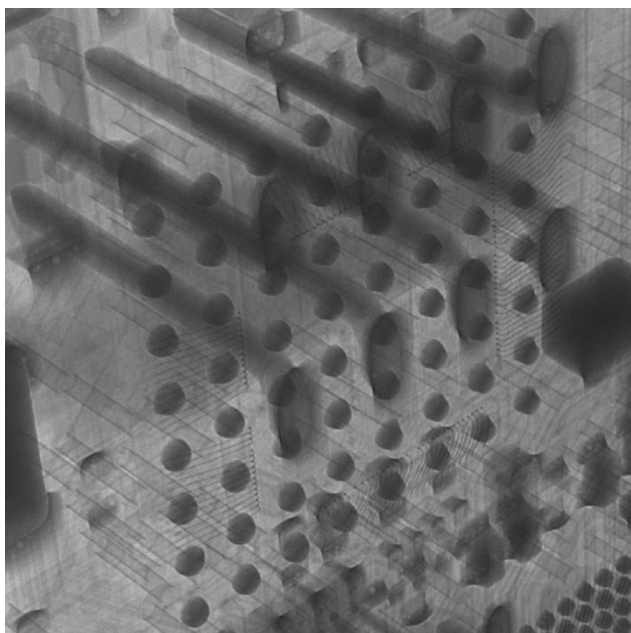
Pořadí vzorku	Vyhodnocení	Důvod/Poznámky
1	✓	-
2	✗	nadzvednutý čip
3	✗	nadzvednutý čip
4	✗	nadzvednutý čip
5	✓	mírná deformace pájených spojů
6	✓	-
7	✓	-
8	✓	mírná deformace pájených spojů
9	✓	-
10	✗	výskyt studených spojů
11	✗	výskyt studených spojů
12	✓	-
13	✓	-
14	✗	výskyt studených spojů
15	✓	-

Na rentgenovém snímku u vzorku číslo 1 na obr. 47 nejsou viditelné žádné defekty pájených spojů. Všechny spoje vykazují předpokládaný tvar pájeného kontaktu bez výskytu voidu.



Obr. 47: Vzorek č. 1 s zapájeným pouzdem o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla α dippingem

Na rentgenovém snímku u vzorku číslo 2 na obr. 48 jsou viditelné pájené kulové kontakty s nedostatečným smáčením. Defekty mohly vzniknout nedostatečným naneseným množstvím tavidla na pájené kulové kontakty, a proto nedošlo k dostatečnému smáčení pájecích plošek na DPS.



Obr. 48: Vzorek č. 2 s zapájeným o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla α dippingem

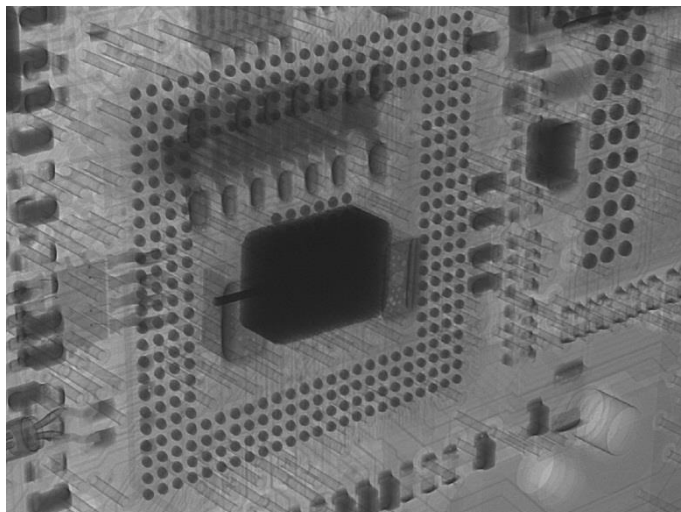
4.3.3 Vyhodnocení vzorku pro tavidlo β

Aplikace tavidla musela proběhnout v krátkém časovém intervalu. U tohoto typu tavidla se projevovalo zasychání při přístupu okolní atmosféry. Nejprve byla provedena aplikace tavidla pro BGA komponent s Fine Pitch roztečí kontaktů 500 μm s osazenými kulovými kontakty o průměru 300 μm . Vrstva tavidla byla vytvořena v aplikačním přípravku s definovanou výškou 200 μm . Vyhodnocení je v Tab. 7 z které je patrné, že dva vzorky mají neakceptovatelný defekt. U jednoho se projevily studené spoje a druhý má zkrat mezi kontakty.

Tab. 7: Tabulka vzorku aplikace tavidla β dipping pro Fine Pitch rozteč BGA komponentu

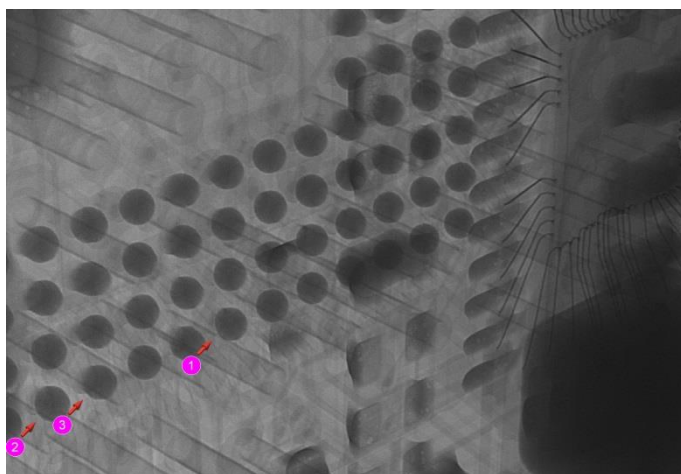
Pořadí vzorku	Vyhodnocení	Důvod/Poznámky
1		-
2		výskyt studených spojů
3		-
4		-
5		zkrat
6		-
7		mírná deformace pájených spojů
8		-
9		mírná deformace pájených spojů
10		-
11		-
12		-
13		-
14		-
15		-

Ukázka zapájených kulových kontaktů u Fine Pitch BGA komponentu které jsou zobrazeny na obr. 49. Pájené kulové kontakty plní mechanickou a elektrickou funkci. V procesu pájení přetavením nenastaly žádné defekty a byly vytvořeny jakostní pájené spoje.



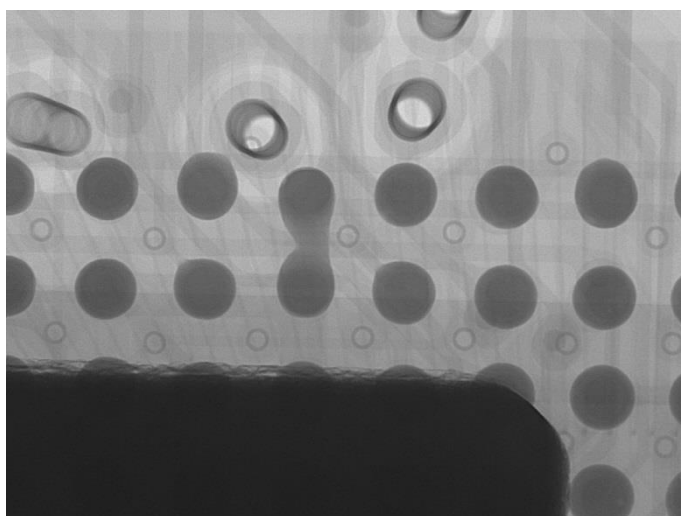
Obr. 49: Vzorek č. 1 s zapájeným pouzdem Fine Pitch po aplikaci tavidla β dippingem

Výskyt studených spojů na vzorku číslo 2 zobrazeny na obr. 50. Některé jsou zvýrazněny šipkami s číslem, ale na rentgenovém snímku jsou viditelné i další studené spoje. Příčina může být způsobena nanesením nedostatečného množství tavidla na kulové kontakty BGA komponentu a to způsobilo špatné smáčení a vznik studených spojů.



Obr. 50: Vzorek č. 2 s zapájeným pouzdem Fine Pitch po aplikaci tavidla β dippingem

Zkrat mezi sousedními kontakty je na obr. 51 u vzorku číslo 5. Příčina může být způsobena poškozením pájecí masky při procesu ručního čištění. Následkem byla odhalena měděná cesta a při procesu pájení roztavená pájecí slitina se rozlila a následně vytvořila zkrat mezi kontakty.



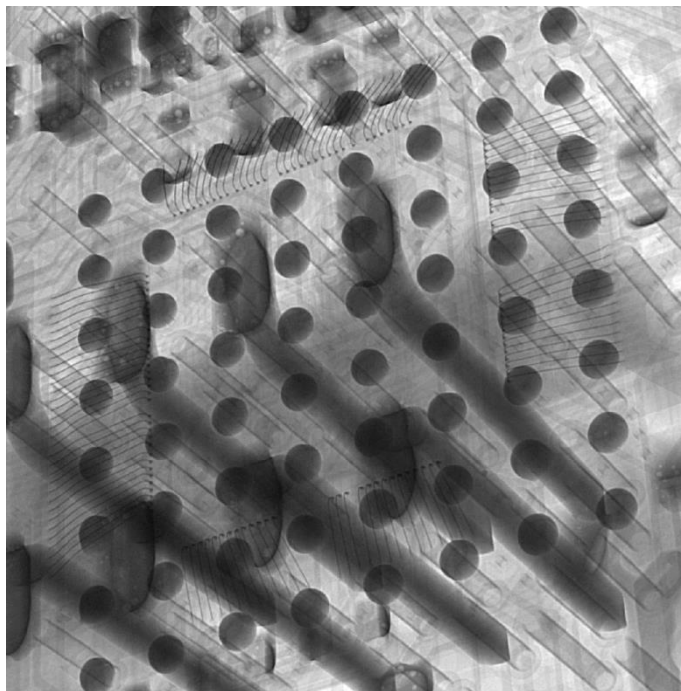
Obr. 51: Vzorek č. 5 s zapájeným pouzdem Fine Pitch po aplikaci tavidla β dippingem

Byl proveden test pro 15 vzorku pouzdra s roztečí kontaktů 1 mm s průměrem osazených kulových kontaktů o velikosti 430 μm . Pro dipping byla vytvořena vrstva naneseného tavidla v aplikačním přípravku s definovanou výškou 305 μm . Výsledky jsou v Tab. 8 kde u dvou testovaných vzorku nastal neacceptovatelný defekt na výskyt studených spojů které mohou být způsobeny nedostatečným naneseným množstvím tavidla.

Tab. 8: Tabulka vzorku aplikace tavidla β dippingem na BGA komponent s kontakty uspořádanými maticí vývodů 8 x 8 o rozteči 1 mm

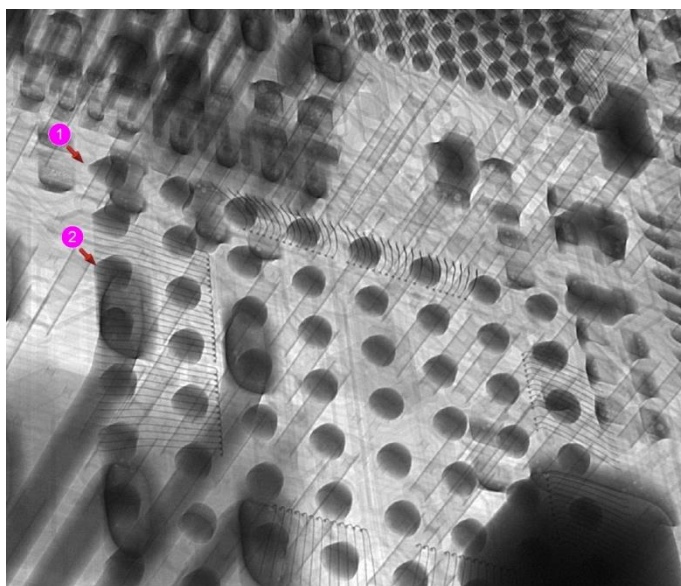
Pořadí vzorku	Vyhodnocení	Důvod/Poznámky
1	✓	-
2	✓	-
3	✓	mírná deformace pájených spojů
4	✗	výskyt studených spojů
5	✓	-
6	✓	-
7	✓	-
8	✓	-
9	✓	-
10	✓	-
11	✓	-
12	✓	-
13	✗	výskyt studených spojů
14	✓	-
15	✓	-

Ukázka jakostně zapájeného vzorku je na obr. 52 na kterém je rentgenový snímek se vzorkem číslo 1. Jedná se o vhodně zapájený BGA komponent bez viditelných defektů. Všechny kulové kontakty smáčí pájecí plošky.



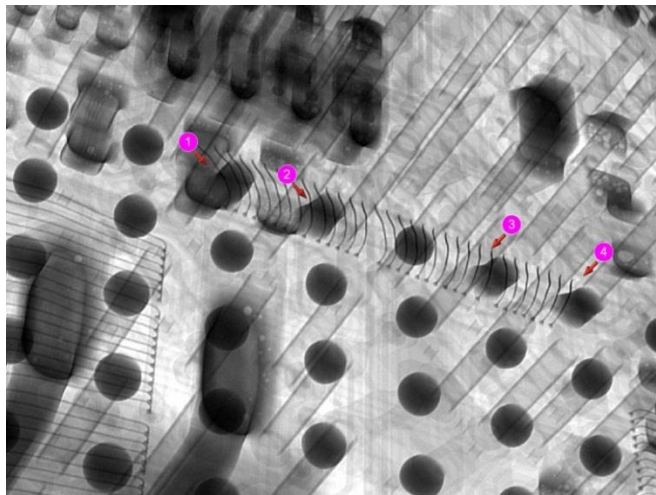
Obr. 52: Vzorek č. 1 pro pouzdro o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla β dippingem

Ukázka akceptovatelné deformace je viditelná na obr. 53 kde je vzorek číslo 3 u kterého je patrné že v pravé části označené šipkami je mírné protažení kulových kontaktů.



Obr. 53: Vzorek č. 3 pro pouzdro o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla β dippingem

Nadzvednutí čipu na obr. 54 u vzorku číslo 4. Šipkami jsou zde zvýrazněny protažené kulové kontakty, které jsou elektricky připojeny na DPS. Ostatní kulové kontakty nevytváří elektrický kontakt a tvoří studené spoje. Mezi další možnosti lze zařadit nedostatečnou aplikaci tavidla při testované metodě na kulové kontakty. Obdobný defekt nastal i vzorku číslo 13.



Obr. 54: Vzorek č. 4 pro pouzdro o rozteči 1 mm po aplikaci tavidla β dippingem

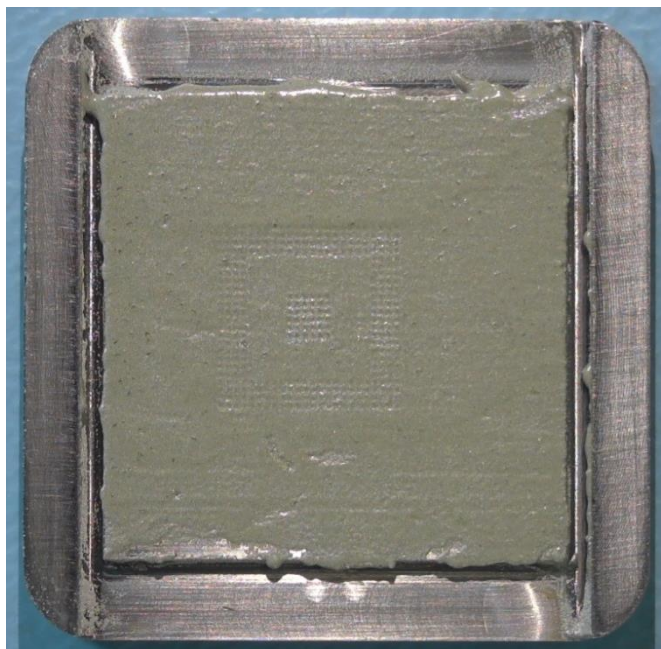
4.3.4 Vyhodnocení vzorku pro bezolovnatou pájecí pastu

Byly provedeny testy pro oba typy testovaných BGA komponentů pro aplikaci bezolovnaté pájecí pasty SAC 305 se složením 96,5Sn, 3Ag, 0,5Cu s 13% tavidla. Nanesená vrstva v aplikačním zařízení z pájecí pasty na obr. 55.



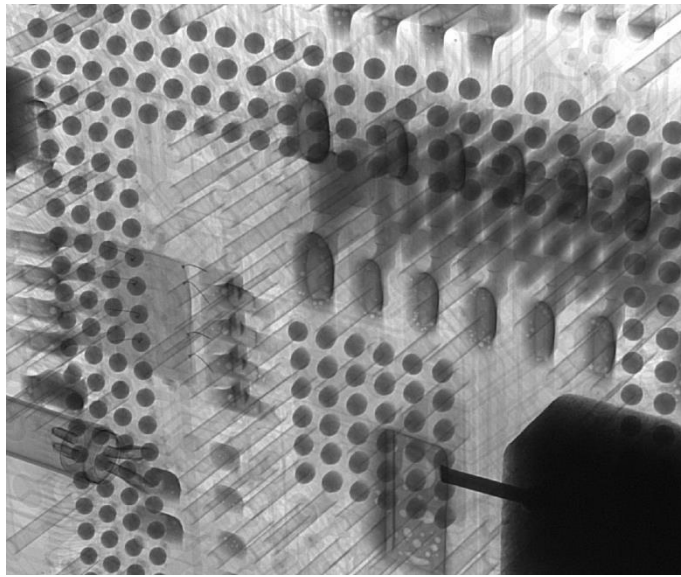
Obr. 55: Vytvořená rovinná vrstva pájecí pasty pro dipping

Nejprve byl proveden test pro BGA komponent s Fine Pitch roztečí kontaktů 500 μm s osazenými kulovými kontakty o průměru 300 μm . Vrstva pájecí pasty byla vytvořena v aplikačním přípravku s definovanou výškou 200 μm . Vysoká viskozita pájecí pasty nevytvořila vhodný otisk v aplikačním přípravku a bylo naneseo minimální množství na kulové pájecí kontakty od BGA komponentu. Otisk od Fine Pitch BGA komponentu na obr. 56.

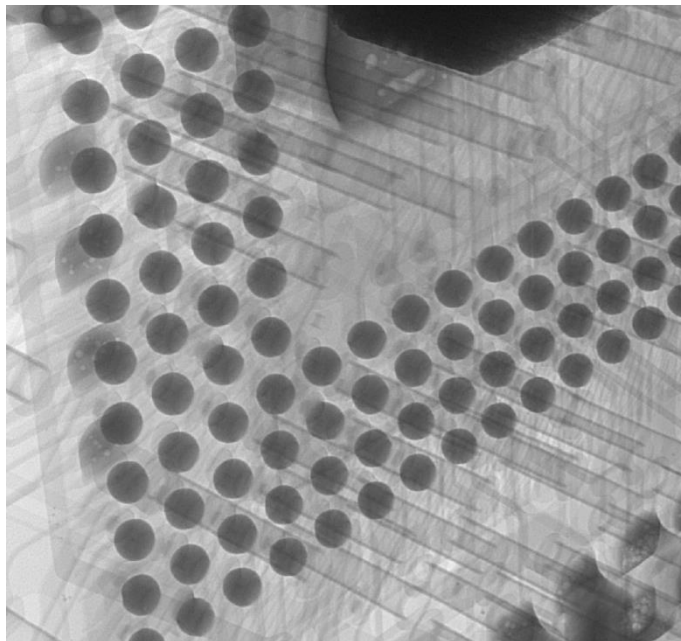


Obr. 56: Vytvořený otisk v pájecí pastě od Fine Pitch BGA komponentu v aplikačním přípravku

Byly provedeny tři testovací vzorky a u všech nenastalo smáčení kulových kontaktů na DPS. Ukázka z testovaného vzorku na obr. 57 s detailem na pájené kulové kontakty na obr. 58. Z rentgenového snímku je patrné, že nebylo aplikováno dostatečné množství pájecí pasty na kulové kontakty BGA komponentu. Vhodně by bylo změnit typ pájecí pasty za jiný s vyšším obsahem tavidla, které by bylo vhodnější pro danou aplikaci dippingem. Všechny vzorky vykazovaly stejný defekt studených pájených spojů.



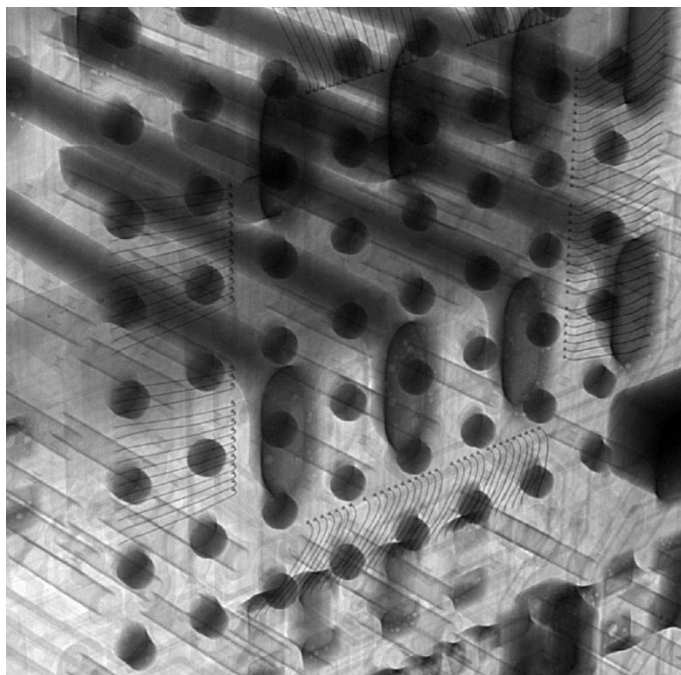
Obr. 57: Vzorek BGA komponentu o rozteči Fine Pitch po zapájení pájecí pastou aplikovanou metodou dipping



Obr. 58: Detail vzorku BGA komponentu o rozteči Fine Pitch po zapájení pájecí pastou aplikovanou metodu dipping

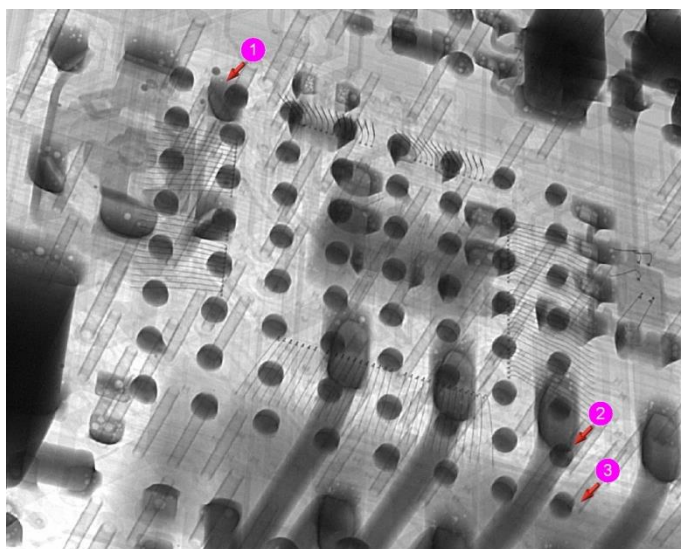
Poté byly provedeny testy pro pouzdro s větší roztečí kontaktů. Pro dipping byla vytvořena vrstva nanesené pájecí pasty v aplikačním přípravku s definovanou výškou 305 μm . Po analýze v rentgenovém zařízení bylo zjištěno nedostatečné smáčení pájených kulových kontaktů a výskyt volných kuliček z pájecí slitiny po pájení přetavením.

Příklad nedostatečného smáčení pájených kulových kontaktů na obr. 59. Z rentgenového snímku je patrná nedostatečná aplikace pájecí pasty na kulové kontakty a vytvoření pájených kontaktů podobným studeným spojům. Pájené spoje by vykazovaly nízkou spolehlivost náchylnou na ztrátu elektrické funkce.



Obr. 59: Vzorek č. 1 s zapájeným pouzrdem o rozteči 1 mm po aplikaci pájecí pasty dippingem

Na rentgenovém snímku vzorku číslo 2 na obr. 60 jsou viditelné dva různé typy defektu. Šipka s číslem 1 označuje volné kuličky z pájecí slitiny po procesu pájení přetavením. Šipkami označenými číslo dva a tři jsou viditelné defekty s nedostatečným smáčením pájených kulových kontaktů.

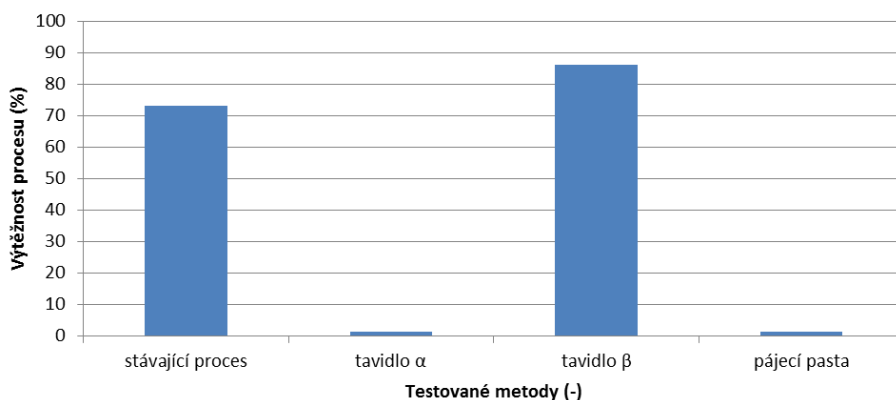


Obr. 60: Vzorek č. 2 s zapájeným pouzrdem o rozteči 1 mm po aplikaci pájecí pasty dippingem

4.3.5 Vyhodnocení metody dipping

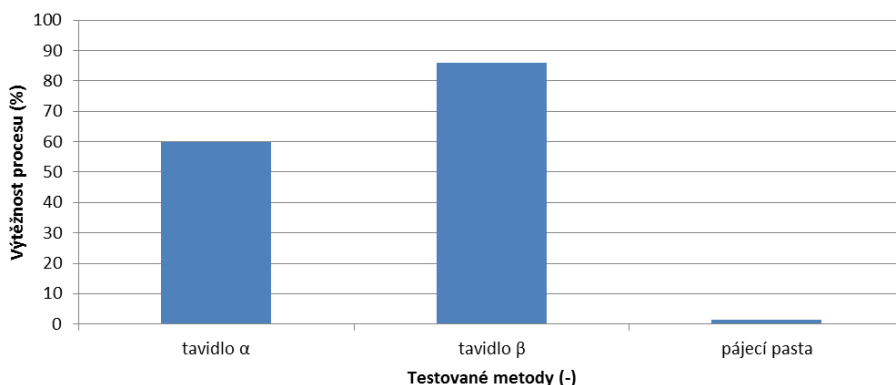
Byly provedeny testy 15 vzorků pro testované typy tavidel a pájecí pasty. Následně bylo provedeno vyhodnocení na rentgenovém zařízení pro případné defekty a chyby pájených spojů. U bezchybně zapájených BGA komponentu byl proveden elektrický test. Vyhodnocení proběhlo na základě výtěžnosti pro daný proces.

Výsledky jsou rozděleny do dvou grafů dle typu testovaného BGA komponentu. První typ je Fine Pitch BGA komponent v maticovém uspořádání s roztečí 500 μm mezi sousedními kontakty zobrazen na obr. 61. Zde je patrné že nastal výpadek u tavidla typu α pro vytvoření studených spojů a u pájecí pasty nebylo možné vytvoření reprodukovatelného dávkování. Pro metodu dipping daného komponentu je nejvíce vhodný typ tavidla β který měl vyšší výtěžnost procesu 86 % oproti stávajícímu procesu s výtěžností 73 %.



Obr. 61: Graf výtěžnosti procesu pro dipping tavidla a pájecí pasty pro Fine Pitch BGA komponent

Druhým typem je BGA komponent s roztečí 1 mm osazen většími kulovými kontakty. U pájecí pasty nastal úplný výpadek z testovaných vzorků, a proto není vhodná pro daný typ aplikace s BGA komponentem. U tavidla typu α byla dosažena výtěžnost 60 % a pro typ β dosáhl 86 % z tohoto hlediska je nejvíce vhodné pro danou aplikaci s daným typem BGA komponentu.



Obr. 62: Graf výtěžnosti procesu pro dipping tavidla a pájecí pasty pro BGA komponent s maticí vývodů 8 x 8 s roztečí 1 mm

4.4 Vyhodnocení a porovnání jednotlivých testovaných metod

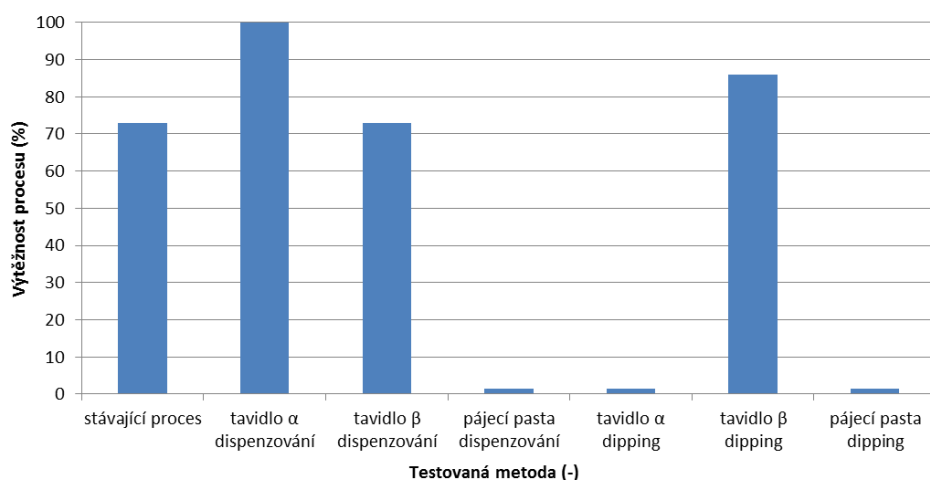
S dosavadním trendem výzkumu a rozvoje pouzder s Fine Pitch roztečí a použití kulových kontaktů se stále menším průměrem. Je důležité provádět výzkum a optimalizovat aplikace tavidla a pájecí pasty s využitím různých technologií pro dané typy BGA komponentu s dosažením spolehlivých pájených spojů. Při následných aplikacích na nových typech pouzder v opravárenském procesu.

Z výše pospaných důvodů bylo nejprve zvoleno pouzdro s roztečí 500 μm s osazenými kulovými kontakty o průměru 300 μm a následné grafické vyhodnocení výtěžnosti jednotlivých metod zobrazených na obr. 63. Z kterého je provedeno srovnání se stávajícím procesem, kdy aplikace tavidla je prováděna ručně s použitím vatového aplikátoru. Tento typ aplikace není vhodný z hlediska dlouhodobé reprodukovatelnosti a je závislý na zkušenostech daného operátora.

Vyšší výtěžnosti dosáhla aplikace tavidla α dispencováním na kulové kontakty BGA komponentu. Při tomto způsobu aplikace bylo dosaženo dostatečného naneseného množství tavidla. V procesu se projevil i výskyt malých voidů v kulových kontaktech po pájení přetavením. Testovaná aplikace způsobila dostatečné smáčení pájecích plošek na DPS a vytvoření spolehlivých pájených spojů. Dalším vývojem by bylo možné optimalizovat nanášené množství tavidla na BGA komponent. Při metodě dippingu popisovaného typu tavidla všechny testované vzorky vypadly na nedostatečné smáčení s výskytem studených spojů. Tento výsledek předurčuje další směr testování a vývoje u tavidla typu α pro zvolené pouzdro aplikace dispencováním.

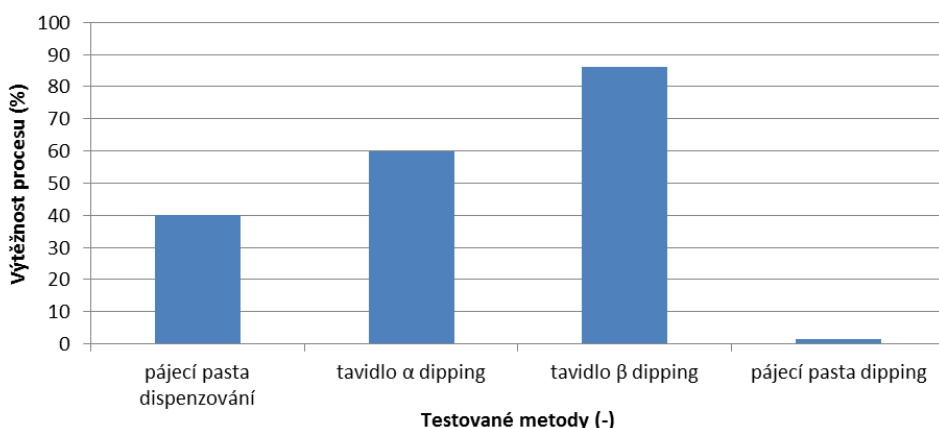
Alternativní možností je tavidlo β které vykazovalo vyšší výskyt defektu u aplikace dispencováním. Ale z grafického vyhodnocení na obr. 63 je patrné že při aplikaci tavidla dippingem vykazuje vysokou výtěžnost z procesu. Tento způsob aplikace je vhodný pro provedení testů pro další typy BGA komponentu s ještě menšími kulovými kontakty které se mohou vyskytovat v opravárenském procesu po zavedení nových opravovaných typu DPS. Hlavní nevýhodou daného způsobu aplikace se řadí vlastnost tavidla způsobující zasychání při vystavení okolní atmosféry. Aplikace tavidla při provádění testů byla optimalizována do krátkých časových intervalů, aby se neprojevovalo zasychání.

Aplikace bezolovnaté pájecí pasty pro Fine Pitch pouzdro byla vyloučena u obou testovaných metod. S použitím dispenzeru nebylo docíleno reprodukovatelného nanesení pro provedení testu a bylo způsobeno znečištění dávkovací kapiláry, následně i DPS na které byla prováděna aplikace pájecí pasty. Pro metodu dipping nebylo nanášeno dostatečné množství pájecí pasty nebo tavidla kdy byly vytvořeny studené spoje. Možnost by byla změna typu bezolovnaté pájecí pasty s vyšším obsahem tavidla.



Obr. 63: Celkové vyhodnocení metod pro typ Fine Pitch roztečí 500 μm

U provedených testů pro BGA komponent s roztečí 1 mm osazený kulovými kontakty o průměru 430 μm . Z provedených testů na obr. 64 měla nejvyšší výtěžnost aplikace dippingem tavidla β která se projevila vysokou výtěžností i u Fine Pitch pouzdra. Další v pořadí se umístilo tavidlo α u kterého při použití Fine Pitch pouzdra nastal úplný výpadek na studené spoje. Změna aplikace tavidla na větší průměr kulových pájených kontaktů se projevilo kladně ve výtěžnosti. Při metodě dispenzování u předchozího typu pouzdra dosáhl maximální výtěžnosti. Tento jev naznačuje, že typ tavidla α je důležité aplikovat ve větších množstvích. Při dispenzování pájecí pasty na DPS s následným usazením BGA komponentu je nízká výtěžnost a nastaly výpadky na výskyt volných kuliček z pájecí slitiny a rozstřík pájecí slitiny dle normy IPC nepřijatelné. Metodou dipping do pájecí byl analyzován vznik studených spojů pro nedostatečné nanesené množství na kulové kontakty.



Obr. 64: Celkové vyhodnocení metod pro BGA komponent s roztečí 1 mm

ZÁVĚR

Po vyhodnocení testu na Fine Pitch BGA komponentu s roztečí 500 μm a s osazenými kulovými kontakty o průměru 300 μm bylo provedeno srovnání se stávajícím procesem, kde byla dosažena vypočítaná výtěžnost 73 %. Po analýze testovaných vzorků v rentgenovém zařízení a provedení elektrických testů při aplikaci tavidla typu α dispenzováním byla dosažena výtěžnost 100 %. Tento výsledek výtěžnosti byl porovnán s dosavadním postupem aplikace tavidla. Tento postup vedl ke zvýšení výtěžnosti o 27 %. Při změně metody aplikace tavidla typu α na dipping u FBGA pouzdra nastal úplný výpadek testovaných vzorků. Kde bylo možné pozorovat defekty studeného spoje zapříčiněné nedostatečnou aplikací tavidla na kulové vývody komponentu. Po vyhodnocení druhého tavidla typu β metodou dispenzování byla vypočítaná výtěžnost 73 % která je stejná se stávajícím procesem. Aplikace tavidla metodou dipping byla vypočtena vyšší výtěžnost o 13 % oproti stávajícímu procesu.

Ostatní testované metody s použitím pájecí pasty již vykazovaly četné defekty a chyby pájených spojů, které se nejvíce projeví, jako studené spoje a deformace kulových vývodů BGA. Z tohoto důvodu byl zvolen pro testy další typ BGA komponentu s většími kulovými kontakty pro zjištění výtěžnosti pájecí pasty.

Testované pouzdro bylo o rozteči 1 mm s osazenými kulovými kontakty o jejich průměru 430 μm . Po provedení testu byla vypočítána výtěžnost pro tavidlo typu α pouhých 60 %. Tento jev naznačuje, že u typu α je důležité nanesené množství tavidla. Při aplikaci tavidla typu β bylo dosaženo podle výpočtu výtěžnosti 86 %. Tyto výsledky dokazují velký vliv tavidla k vytvoření pevného a spolehlivého spoje mezi deskou plošného spoje a pájeného komponentu. Při metodě dispenzování pájecí pasty na DPS s následným osazením BGA komponentu byla dosažena výtěžnost 40 %. Po analýze testovaných vzorků v rentgenovém zařízení byly zjištěny časté chyby, jako např. vyskytující se volné kuličky z pájecí slitiny a studené pájené spoje. Při aplikaci pájecí pasty metodou dipping byly zjištěny výpadky z důvodu výskytu studených pájených spojů. Tato nízká výtěžnost byla způsobena nanesením malého množství pájecí pasty na kulových vývodech BGA komponentu.

Provedenými testy bezolovnatou pájecí pastou bylo zjištěno, že používané technologie v opravárenském procesu jsou nedostačující pro dané aplikace. Vhodné by bylo změnit řízení dávkování s přesnou šroubovicí nazývanou Archimédův šroub. Dále lze dosáhnout lepších výsledků změnou velikosti zrn pájecí pasty za menší, označované třídou 5 nebo vyšší. Dle mého názoru by do budoucna bylo vhodné vyzkoušet pastu s větším obsahem tavidla a menšími částicemi pájecí slitiny. Samozřejmě je možný tisk pasty za pomoci šablony, ale vzhledem k velkému počtu opravovaných typů DPS, by byla potřeba velké množství šablon, což je neekonomické. Dosažené výsledky budou následně využity k optimalizaci procesu výměny BGA komponentu ve společnosti SAMNINA u opravovaných desek plošných spojů se zvýšením výtěžnosti procesu s ohledem na jakost pájených spojů.

LITERATURA

- [1] *BGA - pouzdra s kulovými vývody*. *SMT centrum* [online]. 2010 [cit. 2015-10-10]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/pouzdra-smd/bga-pouzdra-s-kulovymi-vyvody/>
- [2] BOGATIN, E. *GRID ARRAY PACKAGING: BGA AND CSP*. Smithsonian: The Chip Collection [online]. [cit. 2015-10-10]. Dostupné z: http://smithsonianchips.si.edu/ice/cd/PKG_BK/CHAPT_10.PDF
- [3] ONYX29: Advanced SMT Production Rework & Assembly. *AIR-VAC* [online]. 2013 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://www.air-vac-eng.com/onyx29.html>
- [4] Odstranění zbytků pájky: Bezkontaktní odstranění pájky na BGA a DPS. *ABE-TEC* [online]. 2014 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://www.abetec.cz/procesy-v-opravach-bga/odstraneni-zbytku-pajky/>
- [5] *YOYO STADION: SMART WITH THE GAME* [online]. [cit. 2015-10-20]. Dostupné z: <http://yoyostation10.com/assets/files/upload/products/bga-stencil-1-cetakan%20rsx.jpg>
- [6] Šablony SMT. *LAMIRER: PCB Europe s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: http://www.lamirel.cz/sablona_smt.aspx
- [7] Multimediální výukový systém: Depozice materiálů šablonovým tiskem. *UMEL FEKT VUT v Brně* [online]. [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~vasko/virtualni-laborator/sablonovy-tisk/technologie/>
- [8] DPS: Elektronika od A do Z. ABEL, Martin. *Výběr dispenzeru podle aplikace* [online]. 2012 [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba/id:12000/vyber-dispenzeru-podle-aplikace>
- [9] SZENDIUCH, Ivan. *Propojování v elektrotechnice: elektrické spoje a jejich realizace* [online]. : 78 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-06A-Propojov%C3%A1n%C3%AD%20v%20elektroence%20-%20elektrick%C3%A9%20spoje\(Bc\).pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-06A-Propojov%C3%A1n%C3%AD%20v%20elektroence%20-%20elektrick%C3%A9%20spoje(Bc).pdf)
- [10] Multimediální výukový systém: Pájení v elektrotechnice. *UMEL FEKT VUT v Brně* [online]. [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~vasko/multimedialni-ucebnice/pajeni-v-elektrotechnice/>
- [11] STARÝ, Jiří, Miroslav ZATLOUKAL a Petr STEJSKAL. *MONTÁŽNÍ A PROPOJOVACÍ TECHNOLOGIE (MMOT): pracovní verze 80509*. Brno: VUT, 2009.
- [12] Pájení přetavením: Přetavení infračerveným zářením. *SMT centrum* [online]. 2010 [cit. 2015-11-19]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/pajeni-pretavenim/pretaveni-infracervenym-zarenim/>
- [13] Pájení přetavením: Pájení v parách. *SMT centrum* [online]. 2010 [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/pajeni-v-parach/pajeni-v-parach/>
- [14] *SMT-INFO KONSORCIUM*. [online]. Brno: BRNO SMT-info, 2014 [cit. 2015-11-20]. ISBN

- 1211-6947. Dostupné z: http://www.smtinfo.cz/download/bulletiny/SMT_bulletin1410.pdf
- [15] *THE LAST WILL AND TESTAMENT OF THE BGA VOID* [online]. 2012. In: HILLMAN, Dave, Dave ADAMS, Tim PEARSON, et al. ICSR conference, s. 15 [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: http://www.ipc.org/committee/comments/5-22a_c_Hillman-BGA-void-paper.pdf
- [16] WHITEMAN, Lee. *Failure Analysis of Advanced Electronic Packages* [online]. NATIONAL ELECTRONICS MANUFACTURING CENTER OF EXCELLENCE. 2004 [cit. 2015-10-24]. Dostupné z: <http://www.empf.org/empfasis/mar04/fail.htm>
- [17] LALL, Pradeep, Mohd Nokibul ISLAM, Naveen SINGH, Jeffrey C. SUHLING a Robert DARVEAUX. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies: Model for BGA and CSP Reliability in Automotive Underhood Applications* [online]. 2004 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/3425819_Model_for_BGA_and_CSP_Reliability_in_Automotive_Underhood_Applications
- [18] *Řešení defektu Head-in-Pillow* [online]. E-Tronics. 2011 [cit. 2015-11-26]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba/id:5182/reseni-defektu-head-in-pillow>
- [19] *Examples of Mounting and Problems: Examples of Problems in BGA Mounting* [online]. [cit. 2015-11-26]. Dostupné z: http://www.renesas.eu/products/package/manual/5/5_1/5_1_4/index.jsp
- [20] *Head in Pillow An Easily Missed and Costly Soldering Defect* [online]. HOLTZER, Mitch. 2012 [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <http://alpha.alent.com/Utility/Blog/2012/October/Head-in-Pillow-An-Easily-Missed-and-Costly-Soldering-Defect>
- [21] *X-ray Application: SMD (Surface Mount Devices): Solder Ball Short* [online]. 2010 [cit. 2015-10-27]. Dostupné z: <http://engsec.deeb.co.kr/eng/application/smd.php>
- [22] *Vapour Phase Reflow - Heat Transfer onto BGA's* [online]. A & D AUTOMATION LTD. [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <http://www.adauto.co.uk/Vapour%20Phase%20Reflow%20BGAs.htm>
- [23] BERNARD, David a Bob WILLIS. *CORRELATING THE PRESENCE OF POPCORNEDED BGA DEVICES POST REFLOW WITH SOLDER-BALL DIAMETER MEASUREMENTS FROM X-RAY INSPECTION* [online]. : 6 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: http://www.nordson-at.com/technology/up_img/1428052300-081592.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

DPS	Deska plošných spojů
BGA	Ball Grid Array
PBGA	Plastic Ball Grid Array
CMGA	Ceramic Ball Grid Array
MBGA	Metal Ball Grid Array
CSP	Chip Scale Package
TBGA	Tape Ball Grid Array
MSL	Moisture Sensitivity Levels
Focus	Zaměření na určitý prostor
Via	Prokov mezi vrstvami u desky plošných spojů
Reball	Nanesení nových kuliček u opravovaného BGA pouzdra
Popcorn efekt	Delaminace substrátu nebo pouzdra vlivem vlhkosti při pájení
MSL	Moisture Sensitivity Levels - úroveň citlivosti vlhkosti
Dipping	Máčení, ponořování
SMD	Surface Mount Device – součástka určena pro povrchovou montáž
Komplanární	Ležící v určité rovině
Fine Pitch	Součástky s roztečí < 1 mm udávané v normě IPC 7095
FBGA	Fine Pitch Ball Grid Array