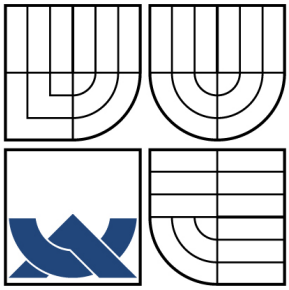
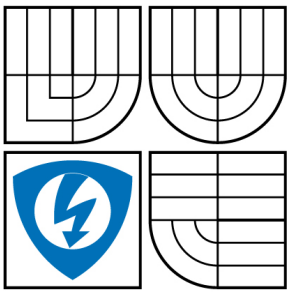


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

DEFEKTY ZPŮSOBENÉ APLIKACÍ PÁJECÍ PASTY A OPTIMALIZACE PROCESU

DEFECTS CAUSED OF SOLDER PASTE APPLICATION AND PROCESS OPTIMIZING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — ZUZANA ŠTICHOVÁ

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. JIŘÍ STARÝ, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2009

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Studentka:	Zuzana Štichová	***ID:***	98533
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Defekty způsobené aplikací pájecí pasty a optimalizace procesu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou aplikace pájecí pasty a elektroizolačního lepidla při výrobě desek plošných spojů (DPS). Na vybraném souboru DPS vyhodnoťte defekty po přetavení pájecí pasty a určete jejich příčiny.
Zpracujte doporučení pro zvýšení kvality pájecího procesu - optimalizace návrhu DPS i množství pájecí pasty.
Zpracujte doporučení pro použití elektroizolačního lepidla (z vyhodnocení styčné plochy a hmotnosti pouzdra) pro oboustrannou čistou SMD montáž. Spolupracujte s firmou EMTEST Žilina.
Vyhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání:	9.2.2009	***Termín odevzdání:***	3.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práve 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt:

Cílem této práce je zdokumentování případů, kde vznikají problémy při přetavení pájecí pasty, vyhodnocení a doporučení pro zvýšení kvality návrhu DPS. Součástí práce je též zpracování doporučení pro použití lepidla pro oboustrannou čistou SMD montáž. Při spolupráci s firmou Emtest, a.s. sídlící v Žilině, jsem se nejvíc zaměřila na optimalizaci návrhu pájecích plošek a realizaci jejich změn jako jednu z možností řešení problému. Spracovala jsem též statistiku nanášení pájecí pasty pomocí technologie JetPrinting.

Abstract:

The aim of this work is documentation of cases, where the problems appear of solder paste reflow process, evaluation and recommendation for increasing quality of proposal PCB. This work contains also recommendation of process using adhesives for double-sided SMD assembly. At the cooperation with the firm Emtest, a.s. in Žilina, I mostly intent on optimalization of proposal footprints and realization of their changes as the one way of solving the problem. I made also statistics of solder paste reproducibility by JetPrinting technology.

Klíčová slova:

technologie, JetPrinting, optimalizace, pájecí pasta, lepidlo

Keywords:

technology, JetPrinting, optimalization, solder paste, glue

Bibliografická citace

ŠTICHOVÁ, Z. *Defekty způsobené aplikací pájecí pasty a optimalizace procesu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědomá následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 1. 6. 2009 .....

podpis autora

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc. Dále děkuji firmě Emtest, a.s a pánům Ing. Eduardovi Liptajovi a Ing. Michalovi Staníkovi za umožnění realizace práce ve firmě a za cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD 8
1. Technologie nanášení pájecí pasty.....9
1.1 Technologie nanášení pájecí pasty přes síto nebo šablonu.....9
1.2 Dávkovací technologie 10
1.3 JetPrinting technologie 10
1.3.1 Všeobecní informace o MY500.....11
1.3.2 Výhody technologie JetPrinting oproti jiným technologiím.....12
1.3.3 Nevýhody technologie JetPrinting oproti jiným technologiím.....13
2. Defekty způsobené aplikací pájecí pasty a návrh jejich odstranění.....14
2.1 Vzniknuté chyby na DPS související s aplikací pájecí pasty.....14
2.1.1 Posouvání součástek.....14
2.1.2 Tombstoning efekt.....14
2.2 Návrhy pájecích plošek pro nanášení pájecí pasty.....17
2.2.2 Konektory.....20
2.2.5 Další součástky.....25
2.3 Reprodukovatelnost nanášení pájecí pasty a výška pájecí pasty.....26
3. Doporučení pro lepení součástek 34
3.1 Chyby vzniknuté při lepení součástek.....34
3.2 Všeobecní doporučení pro lepení součástek.....35
3.3 Návrhy zefektivnění lepení součástek.....36
ZÁVĚR.....39
SEZNAM OBRÁZKŮ.....40
POUŽITÁ LITERATÚRA.....42
Příloha 1.....43

ÚVOD

V současnosti se při procesu povrchové montáže využívají nové technologické linky. Součástí těchto linek je i zařízení na aplikaci pájecí pasty. K nejnovějším typům této technologie patří JetPrinting. Spolupracovala jsem s firmou Emtest, a.s. , sídlící v Žilině, která tuto technologii začala používat.

Mým cílem v této práci bylo poukázat na problémy, vznikající při přetavení pájecí pasty. Nejvíc jsem se věnovala optimalizaci návrhu pájecích plošek. Stroj MY500 využívající technologií JetPrinting umožňoval případné změny realizovat ihned. Součástí práce je též zpracování reprodukovatelnosti pájecí pasty tímto strojem.

Dalším cílem bylo zpracování doporučení, při použití elektroizolačního lepidla, pro oboustrannou čistou SMD montáž.

Výsledkem práce by mělo být celkové zvýšení kvality desek plošných spojů ve firmě Emtest , a.s a posouzení vhodnosti některých technologických zařízení.

1. Technologie nanášení pájecí pasty

1.1 Technologie nanášení pájecí pasty přes síto nebo šablonu

Je to asi nejrozšířenější technologie tisku pájecí pasty v elektrotechnických výrobách. Před osazením součástek se přes síto nebo šablonu nanese na pájecí plošky pájecí pasta , a to sítotiskem. Může být ruční, poloautomatický nebo automatický sítotisk. Šablony se vyrábějí leptáním, eventuelně laserem, nebo aditivně z mosazného nebo nerezového plechu. Síta se vyrábějí z nerezového plechu, nebo polyesterového vlákna. Pasta se nanáší těrkou přes šablonu na pájecí plošky. Šablony jsou oproti sítu trvanlivější a dá se s nimi nanášet silnější vrstva pájecí pasty, proto se jim dává přednost při velkosériové výrobě. Jsou však o dost dražší než síta. Detailní pohled na sítotiskový stůl je obrázku 1. Táto technologie má další nevýhody, a to například zanášení šablon a nutnosti jejich častého čištění a nemožnost okamžité realizace změny šablony. Při změně je potřeba objednat novou šablonu, přičemž čekací doba je kolem týdne. Dále se spotřebuje větší množství pasty než při jiných technologiích. Všeobecně není tak flexibilní jako jiné metody a modifikace výroby je komplikovaná. Také je potřeba skladovacích prostorů na síta/šablony. Této technologie se však ve své práci věnovat nebudu[1][2].

Obr.1: Detailní pohled na sítotiskový stůl.

1.2 Dávkovací technologie

K nanášení pájecí pasty nebo lepidla se taktéž používá dávkovač (dispenzer). Používá se kartuše, naplněné pájecí pastou, která se umístí do adaptéru, spojeného s dávkovačem. Dávkovač je připojený na stlačený vzduch a je možné regulovat množství vytlačené pájecí pasty. Můžou být ruční i plně automatizované, nebo součástí výrobních linek. Rychlost je cca 15 000 až 50 000 kapek/hod[1].

1.3 JetPrinting technologie

Je to relativně nová technologie, která se podobá dávkovací technologii, ale je bezkontaktní a rychlost nanášení kapek pájecí pasty je o mnoho vyšší, než u předchozí technologie.

1.3.1 Všeobecní informace o MY500

V roce 2005 firma MYDATA v Productronica trade show v Mnichově poprvé představila MY500 (obr.2), jako stroj na tisk pájecí pasty bez použití šablony. MY500 dostala jméno díky své rychlosti, která je až 500 teček za sekundu, což dělá 1.8 milionu teček za hodinu.

Systém stroje MY500 obsahuje tři základní části. Jedná se o tělo tiskárny, kazety, cartridge a počítačový offline terminal.

Tiskárna je vstavěná v umělém kameni. Využívá technologií JetPrinting, která nanáší pájecí pastu bezkontaktní metodou. To znamená, že „střílí“ kapky pájecí pasty na dané místo bez toho, aby se samotný stroj dotknul desky plošných spojů. Samotná tiskárna je základ celého systému a obsahuje pohybový systém, polohový systém a dopravníky. Kazety obsahují cartridge s pájecí pastou a jeho hlavní funkcí je samotný tisk pájecí pasty na DPS. Počítačový offline terminal obsahuje počítač a software, který je schopný přečíst soubory CAD a je schopen kontrolovat pohyby stroje při práci. Princip práce spočívá v tom, že je pasta mechanickým tlakem vytlačována z trysky ven. Tohle je možné pomocí piezokrystalu, jehož tvar se změní při přiložení napětí. To na druhé straně vytváří tlak na pájecí pastu, který způsobí její vytlačení z trysky.

MY500 může dosáhnout zrychlení až 4G. Deska plošných spojů je posouvaná lineárními motory na dopravníku, zatím co laser měří její výšku. Tloušťka desky musí být v rozmezí 0,4 mm až 7 mm a rozměr desky musí být v rozmezí od 50 mm x 50 mm do 508 mm x 508 mm. Maximální možná hmotnost desky je 5 kg.

Pájecí pasta je uložená uvnitř kazety, která je tvořená jedinou vyměnitelnou cartridge s pájecí pastou. Jedinou přípravou stroje k práci je založení cartridge dovnitř, což trvá necelou minutu. Když je potřeba vyčistit tisk stačí načíst čárový kód z cartridge a pak jen dát kazetu do tiskárny. Pro každou specifickou pájecí pastu si MY500 automaticky zvolí správné nastavení parametrů. Díky designu cartridge však není pájecí pasta vystavena působení kyslíku do té doby, než se dostane na desku, což usnadňuje čištění. Když pasta dojde, stroj upozorní operátora pomocí speciálního paměťového čipu. Při vývoji této technologie se firma

MYDATA, která uvedla stroj MY500 na trh, spojila s více dodavateli past.

MY500 je natolik citlivý, že nezačne pracovat, pokud není tisk pájecí pasty dostatečně čistý. To se zjistí testováním, kdy se na kalibrační papír nanese několik set kapek pájecí pasty. Dále musí mít pasta správnou teplotu. Až po splnění všech potřebných měření, stroj začne pracovat[3][4][5].

Obr.2: MY500.

1.3.2 Výhody technologie JetPrinting oproti jiným technologiím

V porovnání s jinými technologiemi tisku pájecí pasty, má „JetPrinting“ tyto výhody:

- velká flexibilita systému (v jakémkoli okamžiku je možné zrealizovat potřebnou změnu a není třeba čekat na šablonu od dodavatele kolem týdne)
- spotřebuje se menší množství pasty než například při tisku přes šablonu nebo síto,
- není potřeba čištění
- díky tomu, že nejsou používány síta ani šablony, není zde potřeba skladovacích prostorů

- jednoduchá příprava na práci (pouze vložení kazety s pastou do stroje)
- jednodušší modifikace výroby
- rychlost teček je několik desítek krát větší než u dávkovací technologie
- minimalizace lidského faktoru

1.3.3 Nevýhody technologie JetPrinting oproti jiným technologiím

Nevýhody této technologie:

- není vhodná pro velkosériovou výrobu (v případě, že by bylo dostupných více těchto strojů, bylo by možné ji využít i pro velkosériovou výrobu)
- při každé zjištěné chybě se restartuje počítač
- vysoká cena

2. Defekty způsobené aplikací pájecí pasty a návrh jejich odstranění

2.1 Vzniknuté chyby na DPS související s aplikací pájecí pasty

2.1.1 Posouvání součástek

Častá chyba, která se může objevit při pájení přetavením. Je to ovlivněno více faktory, jako například tvarem a umístěním přívodu a šířkou pájecí plošky. Pokud je pájecí ploška příliš široká a pasta není nanesena do středu plochy, pak se součástka může posunout při přetavení. Tento jev je častý u válcových součástek.

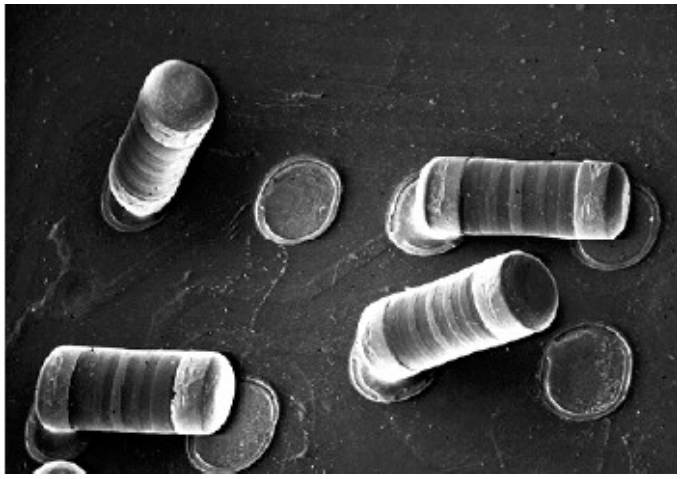
2.1.2 Tombstoning efekt

Nazván také pomníkový efekt (obr.3), Manhattan, Stonehenge a jinak. Je častý u malých součástek. Výsledkem je to, že se součástka na jedné straně nadzvedne, případně se úplně postaví na hranu. Tento jev je ovlivněn tvarem a umístěním pájecích plošek, kvalitou pájecí pasty, teplotou při pájení, kvalitou smáčecího povrchu, aktivitou použitého tavidla, kvalitou prostředí, pájitelností přívodu a plošek a jinými faktory.

Pokud nedojde k přetavení pájecí pasty na obou stranách najednou, případně je jedna strana méně pájitelná jako druhá nebo je na jedné plošce méně pasty než na druhé, potom síly povrchového napětí nejsou na obou stranách stejné a může dojít k defektu. Dochází k tomu i při špatném posazení součástky na desku plošných spojů.

Tyhle chyby se objevují většinou u menších součástek jako například rezistory 0603, 0805 a jiné.

Jedním z možných řešení tohoto defektu je změna tvaru pájecích plošek, nebo použití tzv. Anti-Tombstoning pájecí pasty.[6][2]

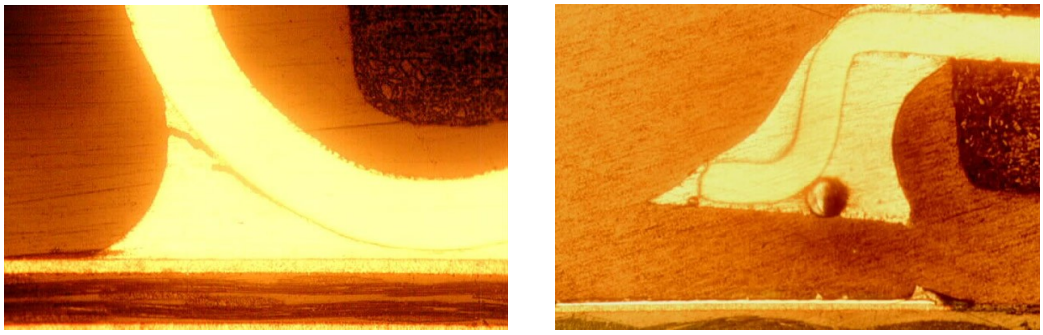


Obr.3: Tombstoning efekt.

2.1.3 Jiné chyby

Možných chyb vzniklých na deskách plošných spojů je velmi mnoho. Častou chybou související s pájecí pastou, je vznik praskliny v kontaktech nebo utržení celého kontaktu od desky plošných spojů. Může to být způsobeno nedostatečnou čistotou desky před nanesením pasty.

Další chybou můžou být například zbytky lepidla pod vývody součástek při pájení vlnou, vzniklé nanesením velkého množství lepidla, které se následně dostane na pájecí plošky.



A B

Obr.4: Prasklina v spoji (A) a utržení celého spoje (B).

Může se také stát, že praskne součástka po přetavení. To může být způsobeno vlivem mechanické síly, velkým teplotním ohřevem, a dalšími vlivy. Velká plastová pouzdra, jako například QFP mohou prasknout díky vlhkosti uvnitř součástky. Při působení vysoké teploty může dojít taky k deformaci plastového pouzdra.

Mezi časté chyby patří také tzv. studený spoj. Může být způsobený vrstvou oxidů mezi spojovanými materiály, nesprávným procesem pájení, nebo jinými příčinami.

Další chybou je odtržená pájecí ploška desky plošných spojů po pájení vlnou, přetavením nebo po ruční opravě. Je to způsobeno příliš velkou teplotou během přetavení nebo předehřevu při pájení vlnou. Při ručním pájení mohla nastat chyba v nastavení teploty pájecího hrotu. Pro odstranění chyb je nutné změnit parametry pájecího procesu. Další příčinou může být špatná vlastní deska plošných spojů, což je chyba v technologickém procesu výroby DPS. To je možné řešit jedině reklamací u dodavatele této špatné desky.

Na DPS vznikají také chyby, při kterých zůstávají zbytky pájky pod součástkou. Příčina může být buď v chybě tisku pájecí pasty, v nestejné viskozitě pájecí pasty, nebo může pájecí pasta obsahovat nečistoty.

Mohou také vzniknout zkraty mezi pájecími ploškami po pájení vlnou a po pájení přetavením. Je to způsobeno velkým množstvím pájky nebo špatně navrženém motivu DPS.

Další chybou je, když jsou kuličky pájky v prostoru mimo pájecí místa po přetavení. V tomto případe je problémem příliš velká teplota předehřevu, kdy se tavidlo velmi rychle rozlévá a strhává s sebou i kuličky pájky. Pak se při chladnutí pájky nestačí spojit s původním pájeným místem. Příčinou může být také to, že pájecí pasta byla nanesena mimo pájecí

plochy, nebo má pájecí pasta nestejnou viskozitu.

Může se stát, že na pájecí plošce je naneseno nedostatečné množství pájecí pasty, což je možné odstranit úpravou zařízení. Podobně se řeší i případy, kdy je na plošce naneseno větší množství pájky než je potřebné.

Další závadou je špatně přilnutí pájky na hranách vývodů. Příčinou je špatně nastavený profil při přetavení, nebo jsou vývody zoxidovaný. Zoxidované vývody a velké množství nanesené pájky můžou způsobit hromadění této pájky na vývodech. Řešit se to dá použitím agresívnější pájecí pasty. Je však nutné následné mytí, nebo úprava dávkovacího zařízení.

Při dlouhém skladování součástky se zhoršují její vlastnosti. Pájitelnost a smáčitelnost kontaktu jsou horší a proto i spoj nemůže mít požadované vlastnosti.[9]

2.2 Návrhy pájecích plošek pro nanášení pájecí pasty

Jedním z možných defektů je samotný návrh pájecích plošek, který může být i přes přesné výpočty pak špatný. Každý výrobce uvádí přesné rozměry pro pájecí plošky součástek, ale i přes přesné teoretické výpočty je třeba jejich ověření v praxi a navrhnout potřebné změny. Velký vliv na kvalitu osazených součástek má i použitá pasta. Použití bezolovnaté pasty, která má obecně horší vlastnosti než olovnatá pasta, má taky svůj vliv na výslednou kvalitu desky.

Velikost, poloha a tvar pájecích plošek mají velký vliv na kvalitu osazených desek plošných spojů a závisí na rozměru součástky, typu přívodu, technologií pájení, přesnosti osazení součástek a na dalších faktorech.

V následující kapitole se budu zabývat tvary plošek pro jednotlivé součástky a taky návrhu jejich změn, co mnohokrát vedlo k pozitivnímu výsledku.

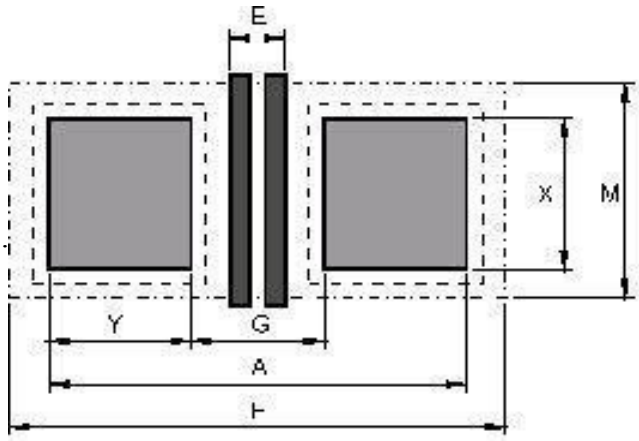
2.2.1 Čipové součástky

Plošky pro pájecí pastu pro čipové součástky mají tvar čtverce nebo obdélníku (obr. 6). Pro návrh pájecích plošek pro čipové součástky (rezistory, kondenzátory) je důležité rozlišit jestli pak půjde o pájení vlnou nebo přetavením. V obou případech se plošky vzájemně liší (obr. 5). Z obrázku je zřejmé, že pro pájení přetavením, jsou plošky blíž u sebe, než u pájení vlnou. Pro pájení vlnou se doporučuje, aby byly plošky od sebe vzdáleny minimálně 1 mm až 2 mm pro čipové součástky. Pro pájení přetavením se plošky navrhují menší a více pod přívody součástky. V důsledku toho, že čipové součástky nejsou přilepeny, pak působením povrchového napětí, které vzniká v okamžiku přetavení pájecí pasty, se tyto součástky mohou pohybovat.

Existují vzorce pro přesné vypočítaní rozměrů pájecích plošek. V praxi je však často potřeba jejich ověření a případné experimentální určení skutečně potřebných rozměrů pájecích plošek pro jednotlivé součástky. Může se stát, že se rezistor posune a tím se jedna strana nekontaktuje s ploškou, případně jenom není dobře připájená,nebo nastane některý z nežádoucích jevů.

A B

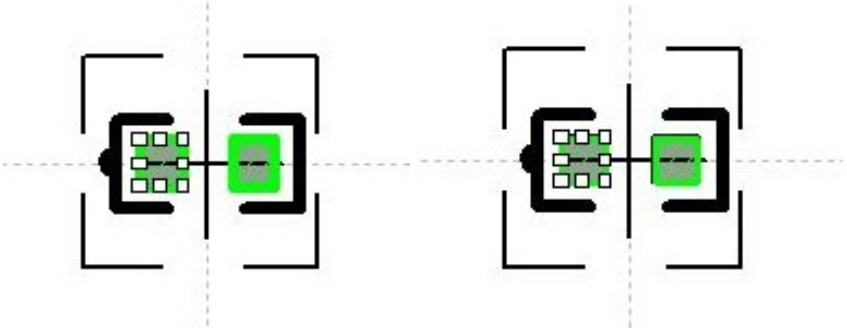
Obr.5: Pájecí plošky pro rezistory pro pájení vlnou (A) a pájení přetavením (B).



Obr.6: Obecný návrh pájecích plošek pro čipový součástky.

Změnou tvaru plošek, a to zmenšením rozměru Y (obr.6) se dosáhne toho, že se součástka může pohybovat už jenom dvěma směry (doleva a doprava) a je vycentrovaná[1].

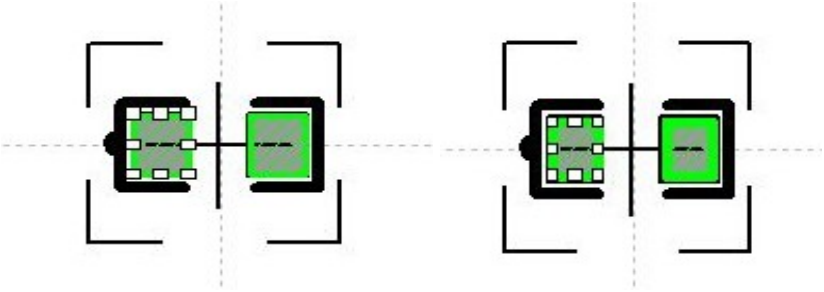
První realizovaná změna u čipových součástek byla u rezistoru 0603. Na obrázku 7 je původní návrh plošek pro rezistor 0603 a upravený návrh. Problém po pájení byl u tohoto rezistoru takový, že nastal tzv. Tombstoning efekt. Rozměr Y (obr. 6) se zmenšil z 0,723 mm na 0,7 mm a rozměr X (viz. Obr.6) se zvětšil z 0,723 mm na 0,8 mm. Taktéž se změnila výška pasty, z 152 μm na 127 μm.



Obr.7: Původní návrh (B) pájecích plošek pro rezistor 0603 a upravený návrh (A).

Dál jsem upravila pájecí plošky pro rezistor 0805 (obr.8). Rozměry v původním

návrhu byly 0,964 mm x 1,205 mm. A rozměry změněného návrhu jsou 0,8 mm x 1,0 mm. U těchto rezistorů se opět změnila výška pasty, ale na rozdíl od čipových součástek 0603, byla ze 127 µm na 152 µm. Důvodem jsou větší rozměry součástky. Proto potřebují více pasty, aby byly dobře připájené a nedocházelo k defektům.



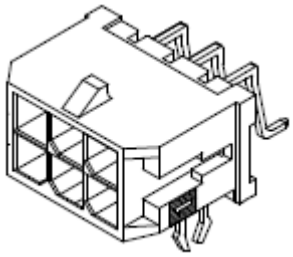
A B

Obr.8: Původní (A) a upravený (B) návrh plošek pro nanesení pájecí pasty pro čipový součástky 0805.

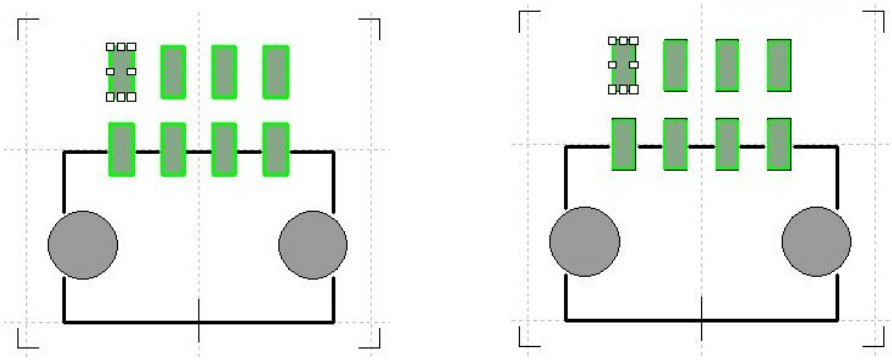
Před realizováním změn byla chyba na přibližně 10 součástkách na desce a po změně se objevuje už jen náhodně a to velmi málo. Statistika se však ve firmě nevede. Díky flexibilitě MY500 se může okamžitě realizovat návrh změny, aby se co nejrychleji odstranila chyba. Konkrétně při 0603 a 0805 vznikal důsledkem jejich malé hmotnosti tombstoning efekt.

2.2.2 Konektory

Další velkou skupinou součástek jsou konektory. Změny, které se navrhovaly, byly pro konektor 43045-0806 (obr. 9) a týkaly se jen malých změn rozměrů pájecích plošek. Původní rozměr byl 1,205 mm x 2,796 mm. Změna se týkala pouze jednoho rozměru. Takže konečné rozměry byly 1,270 mm x 2,796 mm. Podstatnou změnou však byla výška pasty, která se ze 127 µm změnila na 190 µm. Důvodem změny bylo větší mechanické namáhání konektorů. Proto je třeba, aby byly řádně zapájeny a nedocházelo k jejich utržením případně k pokřivení na desce plošných spojů[8].



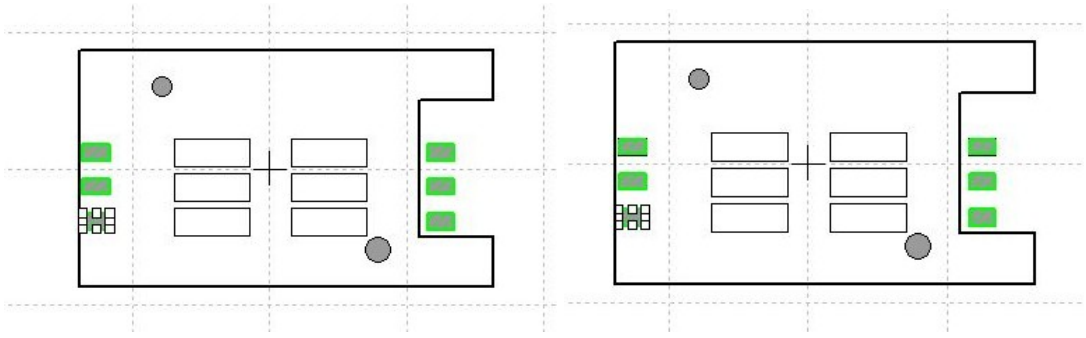
Obr.9: Konektor 43045-0806.



A B

Obr.10: Původní (B) a změněný (A) návrh pájecích plošek pro konektor 43045-0806.

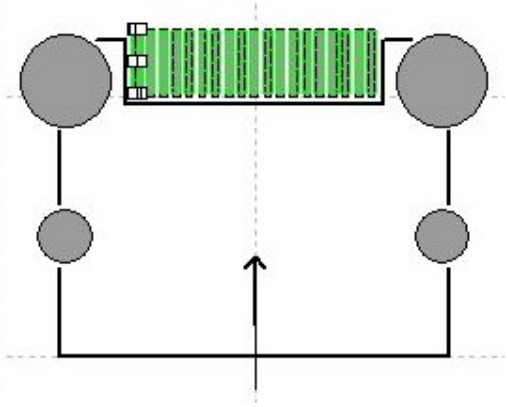
Co se týče konektorů, na kterém byly navržené a realizované změny, jedná se o konektor AMPHENOL SIMLO9B (obr.11), který se používá pro SIM karty a SD karty. U něj byla provedena také velká změna výšky pasty a to též ze 127 µm na 190 µm. Dále byly rozměry pájecích plošek původně 1,898 mm x 1,139 mm a po změně 2,0 mm x 1,2 mm.



A B

Obr.11: Původní návrh (B) a upravený (A) pro ALPHENOL SIMLO9B.

Další konektor, na kterém bylo potřebné navrhnout změny, byl HDMI-471510001 (High-Definition Multimedia Interface). Při něm se měnila jenom výška pasty ze 79 μm na 114 μm. Velikosti plošek pro jednotlivé piny byly 0,33 mm x 2,467 mm.



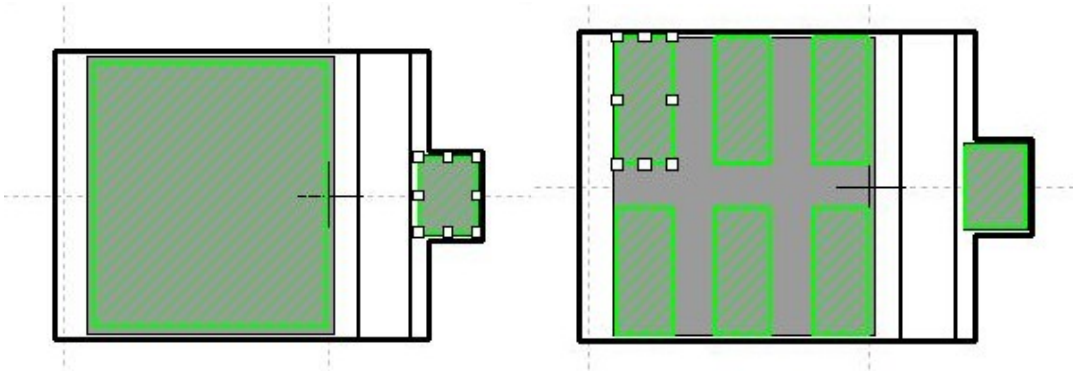
Obr.12: Pájecí ploška pro HDMI-471510001.

Všeobecně u konektorů platí, že je potřeba nanesení vyššího množství pájecí pasty kvůli většímu mechanickému namáhání jako u ostatních součástek[7].

2.2.3 Pouzdra DPAK

Jsou to plastové pouzdra používané obvykle pro tranzistory. Nedoporučuje se pájení vlnou. Výkonnější typy jsou někdy opatřeny chladící ploškou.

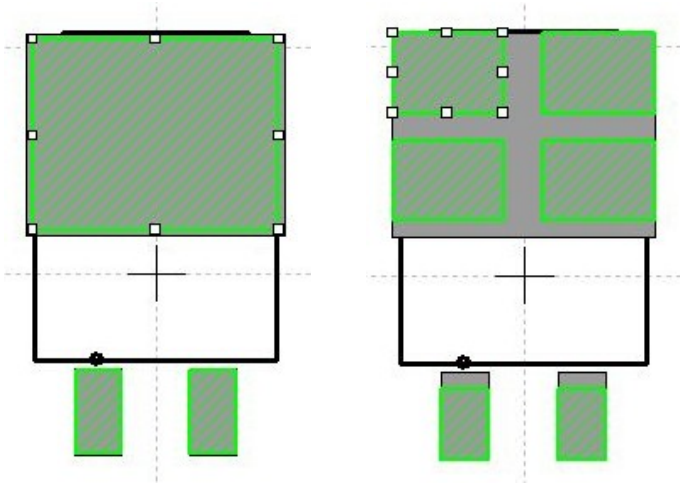
Na obrázku 13 je pouzdro DO-218AB, kdy docházelo k tomu, že se součástka posunula, a proto nebyl vývod na svém místě. Větší pájecí plocha se rozdělila na 6 menších části o velikosti 2,0 mm x 4,5 mm a tím se dosáhlo lepšího vycentrování součástky. Rozměr menší plošky, na kterou se pájí vývod, byl 2,183 mm x 2,847 mm. Nebyla však potřeba její úpravy.



A B

Obr.13: Původní (A) a změněný (B) návrh pájecích plošek pro pouzdro DO-218AB.

Další součástkou, na které byl problém s centrováním, je D2PAK (obr.14). Navržené změny jsou podobné jako u DO-218AB, s tím rozdílem, že se původní velká ploška dělí na 4 části o rozměru 4,8 mm x 3,5 mm. Plošky pro vývody se zmenšily z 1,977 mm x 3,616 mm na 2,083 mm x 3,048 mm.

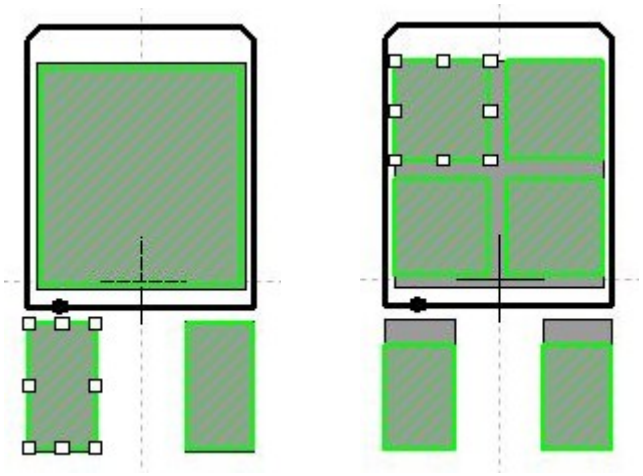


A B

Obr.14: Původní (A) a změněný (B) návrh pájecí plošky pro D2PAK.

Další pouzdro, u kterého bylo nutné navržení jiných rozměrů je DPAK (obr. 15). U něj byla, jako u předchozích pouzder stejného typu, rozdělena velká pájecí ploška na několik menších částí. Konkrétně tak na 4 o rozměru 2,743 mm x 2,870 mm. A pájecí plošky pro

vývody pak byly změněny z původních 1,928 mm x 3,616 mm na 2,032 mm x 3,048 mm.



A B

Obr.15: Původní a změněný návrh pro pouzdra DPAK.

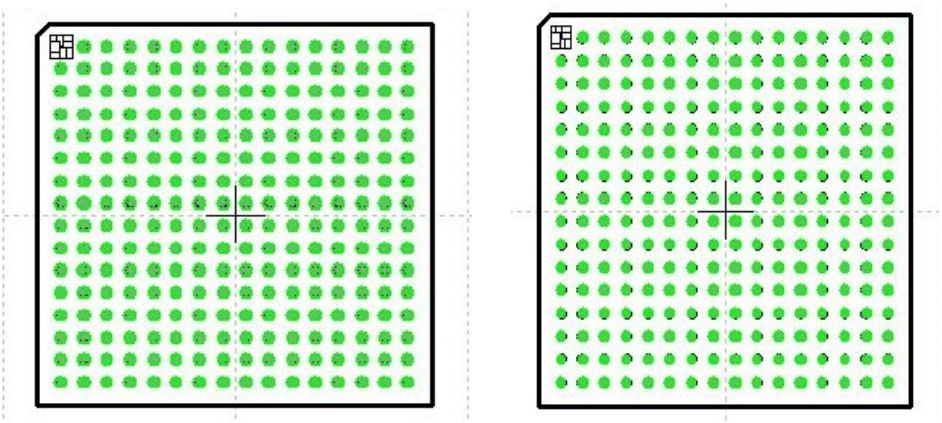
2.2.4 BGA

Tento speciální typ pouzdra, který má kulové vývody na spodní straně, vyžaduje přesné umístnění na desce. Existuje mnoho provedení pouzder BGA (obr. 16), jsou to například P-BGA, C-BGA, T-BGA, µBGA a jiné. Také můžou být kuličky na spodní straně vyvedeny po celé ploše, nebo jen na její části. Kuličky jsou tvořeny eutektickou pájkou Sn63Pb37, přičemž jádro kuličky je tvořeno pájkou Sn10Pb90. Platí pravidlo, že kuličky musí být umístěny alespoň z poloviny na pájecí plošce.

Pájecí plošky jsou kulových tvarů pod vývody. Pro každý typ BGA pouzdra je od výrobce daný rozměr kuličky a také velikost pájecí plošky. Přesný objem pájecí pasty není tak důležitý a proto se rozměry štěrbiny mohou měnit bez toho, aby to ovlivnilo konečnou kvalitu pájení. BGA vykázaly dobré schopnosti, co se týče vystřeďováni na desce plošných spojů, proto během pájení dochází k velkým změnám pozice. Jsou to pouzdra, u kterých je obtížnější kontrolovat zapájené spoje. Je to možné pomocí optických systémů. Pak je třeba vzít do úvahy citlivost BGA na vlhkost. Pokud by došlo během pájení k velké absorpci vlhka,

součástka může puknout a může pak dojít k poruše součástky během provozu[2].

Konstrukčně vychází z pouzder PGA, která mají drátové vývody umístěny na spodní straně. Rozměry kulových plošek se zvětšili z 0,474 mm x 0,474 mm na 0,550 mm x 0,550 mm. Výška pájecí pasty se neměnila a byla 127 µm.

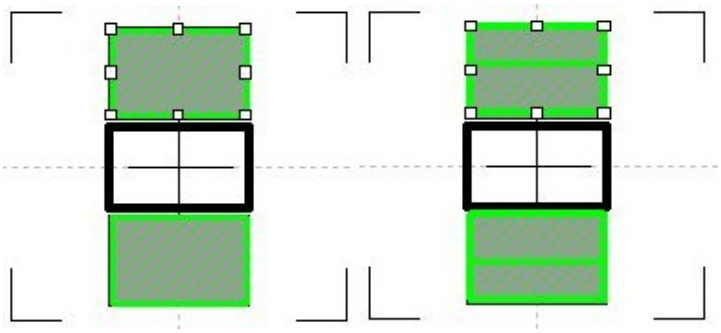


A B

Obr.16: Původní (A) a změněný (B) návrh pájecích plošek pro BGA.

2.2.5 Další součástky

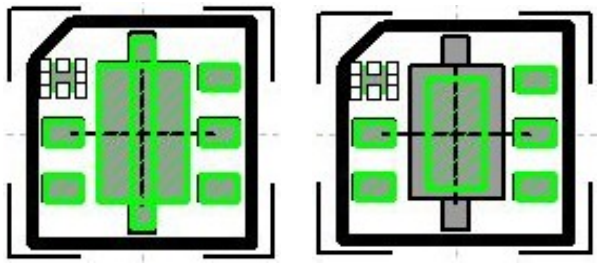
Mezi další součástky, u kterých byla potřebná změna pájecích plošek, je MINISMDC014F-2. Původní a změněný návrh od výrobce je na obrázku 17. Rozměry původní plošky jsou 3,230 mm x 2,073 mm, přičemž výška pasty byla 127 µm. Upravený návrh je takový, že původní velká plocha zůstane rozměrově stejná, jenom se zvýši výška pájecí pasty na 152,4 µm. Na tuto plošku se nanese ještě jedna vrstva pasty o výšce 127 µm a rozměrech 3,230 mm x 1,179 mm.



A B

Obr.17: Původní (A) a změněný (B) návrh pájecích plošek pro MINISMDC014F-2.

Další realizovaná změna pájecích plošek se týče součástky MLP 6CHL, která je na obrázku 18. Na původním návrhu pájecích plošek bylo použito větší než potřebné množství pájecí pasty a plošky byly blízko u sebe, což mohlo vést ke špatnému vycentrování součástky. Upravený návrh má ve středě jenom jednu menší plošku, o rozměrech 1,0 mm x 2,0 mm. Výška pájecí pasty se neměnila a byla 127 μm.



A B

Obr.18: Původní (A) a změněný návrh pájecích plošek součástky MLP6CHL.

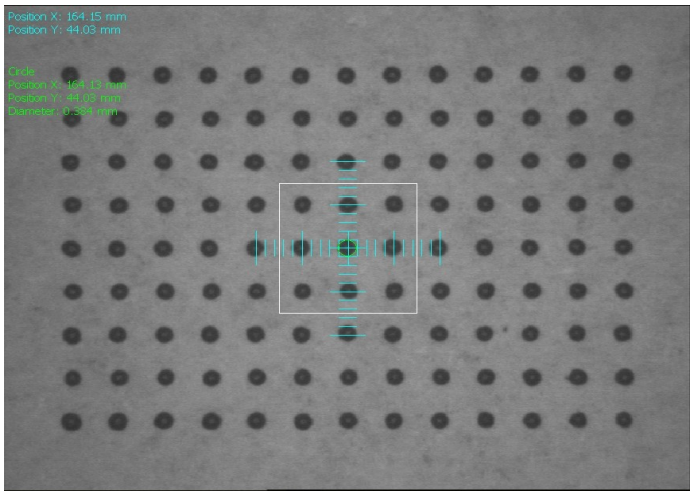
2.3 Reprodukovatelnost nanášení pájecí pasty a výška pájecí pasty

Používají se bezolovnaté pájecí pasty (Senju Lead Free, Almit). S tím jsou spojeny další problémy, protože mají jiné vlastnosti než olovnaté pasty, které byly dosud používány. Možné defekty jsou popsané v kapitole 2.1. Pasty jsou speciální pro JetPrinting. Jsou více roztékavé (mají menší viskozitu). Kdyby se přecházelo na jinou pastu, třeba na anti-

tombstoning pasty na zabránění tombstoning efektu, musela by to pravděpodobně schválit firma, kvůli vhodnosti použití této pasty při JetPrintingu.

Pájecí pasta je skladována v chladničce. Vždy před práci se musí nakalibrovat stroj a to tím, že se nanese několik kapek pájecí pasty na kalibrační papírek (obr. 19) a pokud jsou kapky dostatečně stejné, což stroj zkontroluje porovnáním kapek, nebo zjištěním jestli nějaká nechybí a až pak stroj začne pracovat. Na zjištění jestli chyby na plošných spojích nezapříčinil stroj na aplikaci pájecí pasty MY500, dala jsem udělat přes tisíc kapek na kalibrační papírek a z toho jsem udělala statistiku reprodukovatelnosti.

Na základě průměrů 124 náhodných kapek ze všech tisknutých jsem udělala statistiku, na základě které jsem vyvodila závěry pro reprodukovatelnost pájecí pasty. Byla použitá pasta AE Senju LFAC19. Příslušné naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2 a 3 (tabulka 2 je uvedena v příloze 1).



Obr. 19: Kapky pájecí pasty na kalibračním papírku.

Výška pájecí pasty je zadávána v programu ještě před započetím nanášení pasty. Zadává se výsledná požadovaná výška v procentech, vzhledem k referenční šabloně. Výška referenční šablony je 127 μm, takže při nastavení výšky 100 % bude výsledná výška pasty 127 μm.

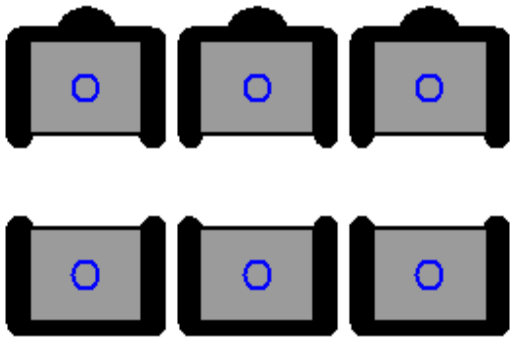
Pokud je nastavená výška pájecí pasty na 0 %, stroj nanese jednu kapku. Pokud bychom ale nastavili výšku pasty například na 50 %, tak plocha pokrytá pájecí pastou je 50

%. Při výšce pasty 100 % je pokrytá celá plocha (vzhledem k tvaru plochy, která když je obdélníková, není možné nanést pájecí pastu do okrajů plošky). Při nastavení výšky od 100 % do 300 %, což je největší možná výška, stroj nanáší na sebe více kapek a tím logicky zvyšuje výšku. V tabulce 1 jsou uvedeny jednotlivé přepočty. Z tohoto vyplývá, že nastavením výšky pasty si stroj přepočítá plochu, kterou pájecí pasta zabere.

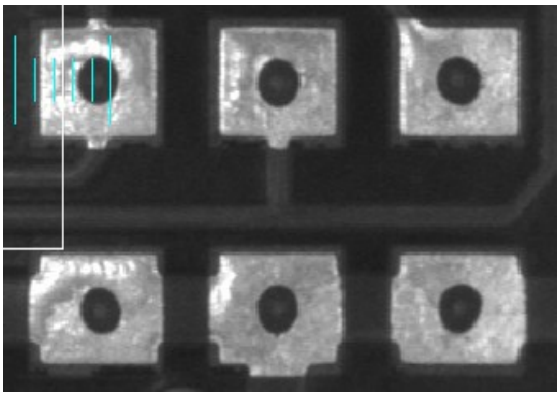
Tabulka 1: Přepočty výšky pasty v % zadávaných v programu vzhledem na referenční šablonu.

Výška pájecí pasty nastavená v programu	Přepočítaná výška pájecí pasty vzhledem na referenční šablonu	Průměr kapky (případne více kapek) při nejmenší možný pájecí plošce
h[%]	v[µm]	q[mm]
0	0(nanesena jedná kapka)	0,370
50	63,5	0,380
100	127	0,442
200	254	0,498
300	381	0,555

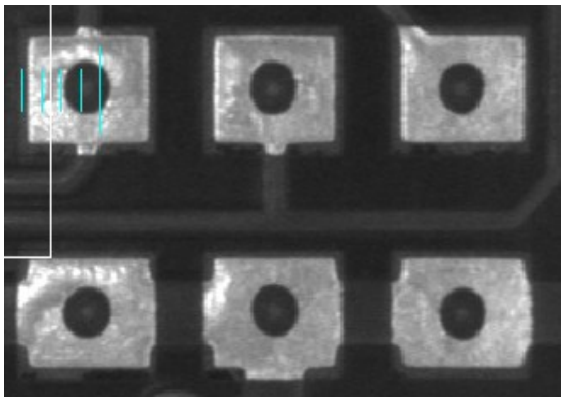
Při nastavení nejmenší možné pájecí plošky jsem nechala nastřelit kuličky při různých výškách (100%, 200%, 300%). Je to na důkaz toho, že se průměr nanesené kapky případně více kapek zvětšuje s výškou pasty. Na obrázku 20 je vidět kde budou kapky. Pájecí ploška je v tomto případě identická s tvarem kapky.



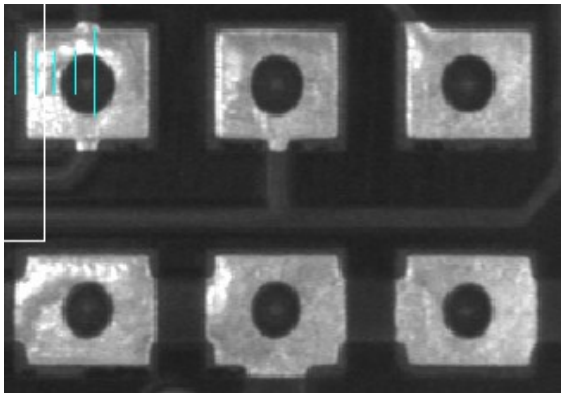
Obr.20: Rozložení kapek pájecí pasty pro nejmenší možnou plošku.



Obr.21: Výška pasty nastavená na 100% při nejmenší možné plošce.



Obr.22: Výška pasty nastavená na 200% při nejmenší možné plošce.



Obr.23: Výška pasty nastavená na 300% při nejmenší možné plošce.

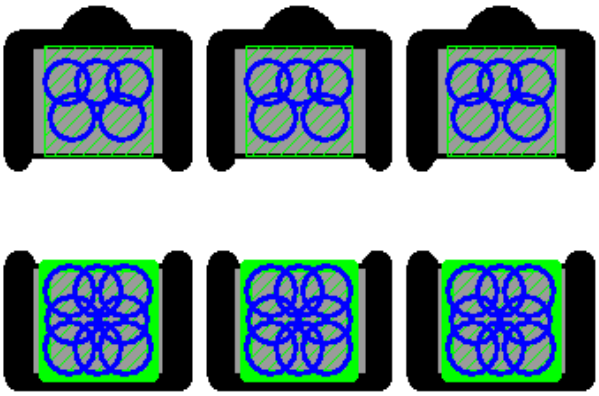
Z obrázků 21, 22 a 23 je vidět, že průměry nastřelených kapek nejsou stejné.

V programu je samozřejmě zadávaný i tvar pájecí plošky, který může být kulatý nebo obdélníkový. Za předpokladu, že je tvar jedné kapky pasty v momentě vytlačení z trysky

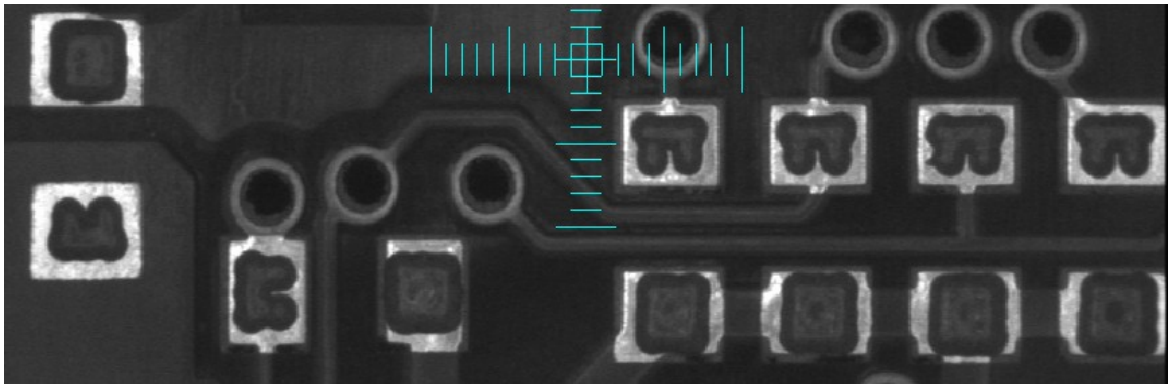
kulový tak se při dopadu na desku zdeformuje na koulový odsek. Pak bychom mohli teoreticky vypočítat výšku pasty respektive výšku kapky. Průměr kapky je vždy totožný a v závislosti na tvaru pájecí plošky a nastavené výšky pasty si stroj přepočítá počet potřebných kapek pro danou plošku. Po nastřelení kapky je tedy průměr jiný. Stroj má pouze 2D optickou inspekci, tudíž se nedá přesně opticky zjistit tvar kapky po dopadu na desku.

Objem kapky vypuzené z trysky podle vzorce na výpočet objemu koule s průměrem 0,330 mm je 0,01881 mm^3.

Rozložení kapek na pájecí plošce pro nastavení výšky pasty na 50 % a při 100 % je vidět na obrázku 24 a pájecí plošky po nanesení tohoto množství pájecí pasty je na obrázku 25.



Obr.24: Pájecí plošky a rozložení při výšce pasty 50 % a 100 %.



Obr.25: Pájecí plošky po nanesení pájecí pasty při optické kontrole.

Pro popis a zpracování jednorozměrného statistického souboru se zejména používají aritmetický průměr (1), rozptyl (2) a směrodatná odchylka (3). Vzorce pro tyto výpočty:

- aitmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (1)$$

- rozptyl:

$$s^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \qquad (2)$$

- směrodatná odchýlka:

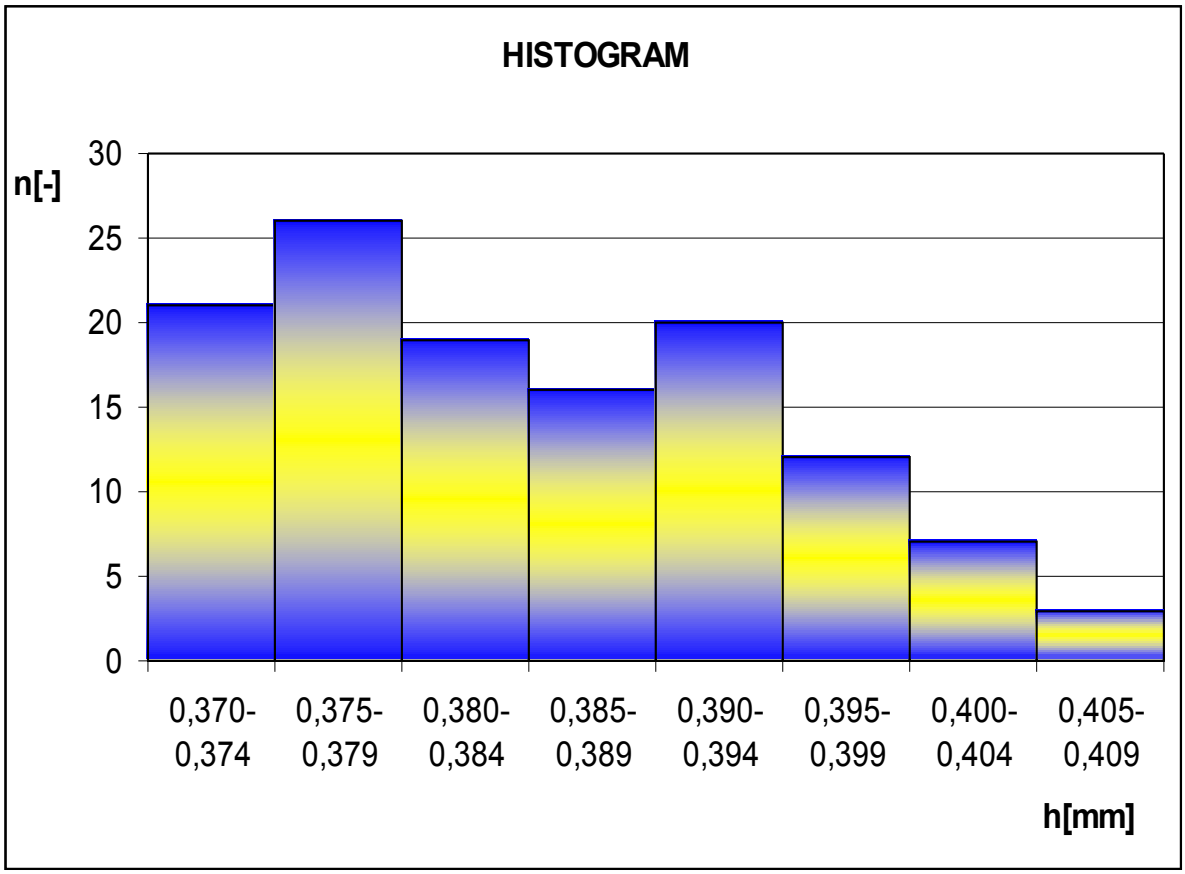
$$s = \sqrt{s^2} \qquad (3)$$

V tabulce 2 (příloha 1) jsou uvedeny naměřené hodnoty, ze kterých aritmetický průměr naměřených hodnot vyšel 0,388 mm, rozptyl byl 0,005 mm^2 a směrodatná odchylka byla 0,072 mm.

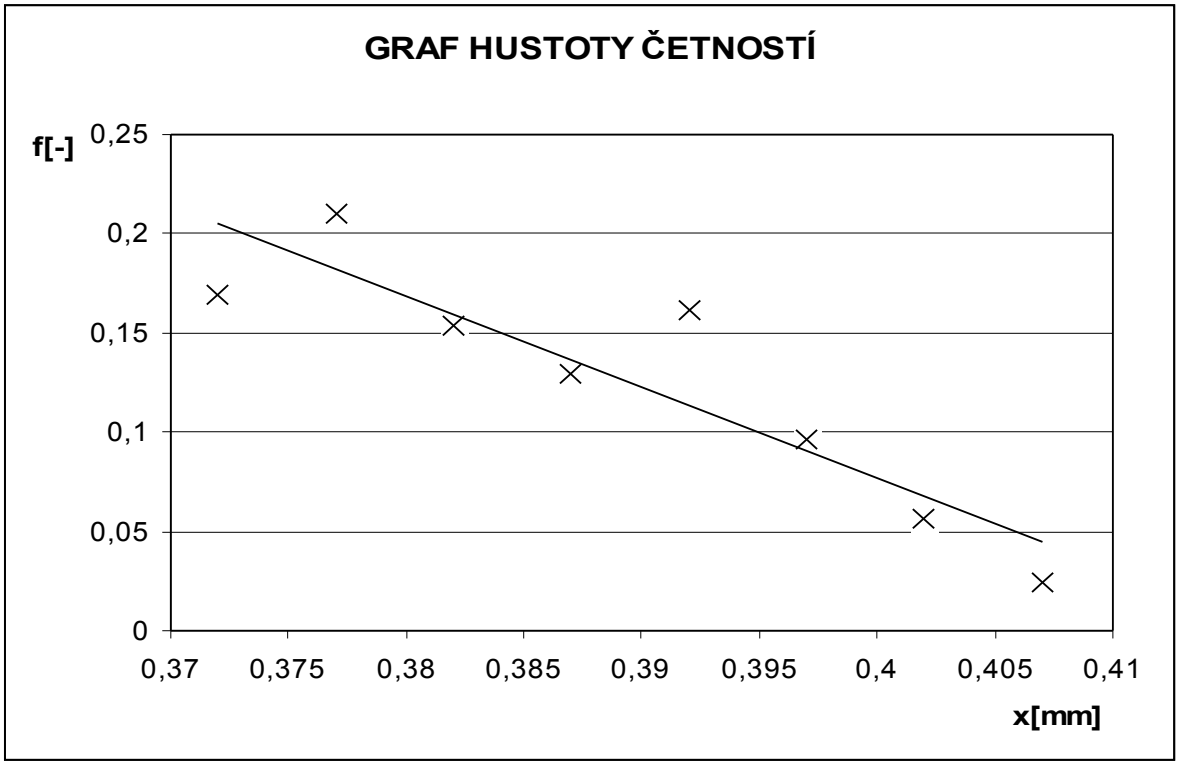
V tabulce 3 jsem hodnoty rozdělila do 8 intervalů a vypočítala další statistické hodnoty ze kterých jsem dále udělala histogram četností (obr.26), graf hustoty četností (obr.27) a graf distribuční funkce (obr.28).

Tabulka 3: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

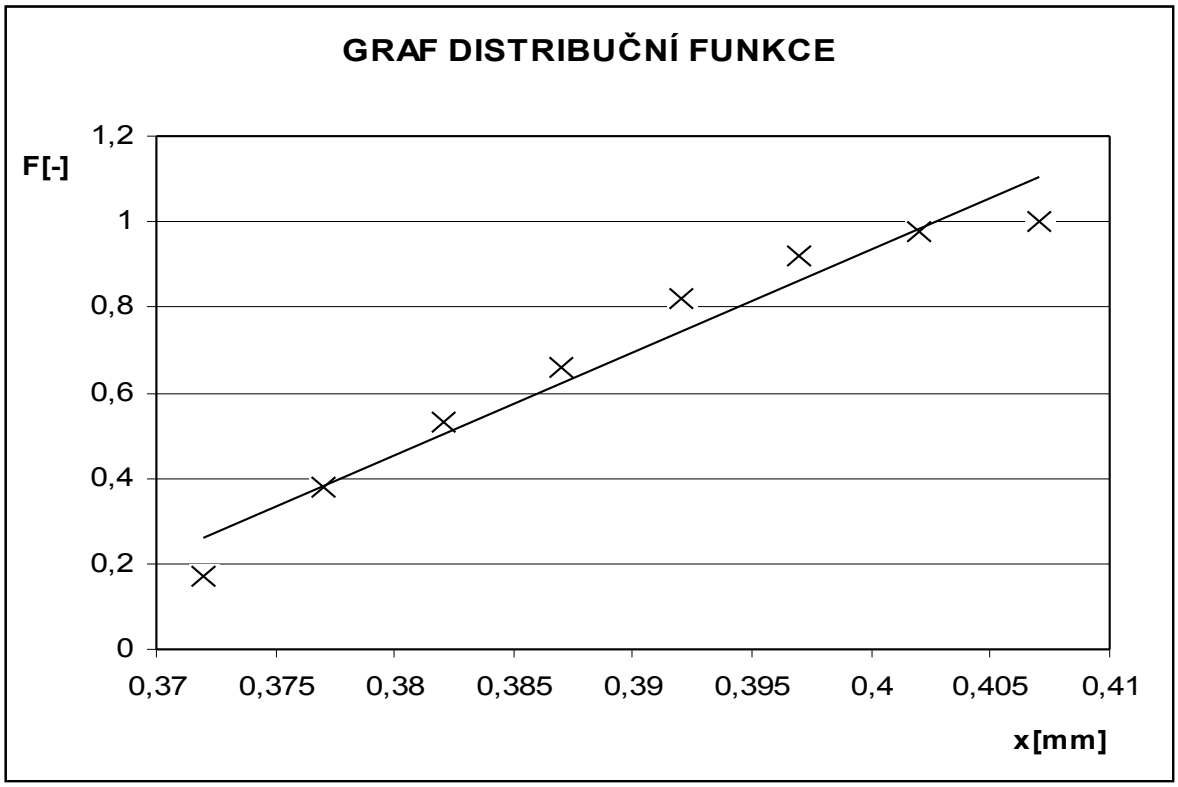
Pořadí	Intervaly hodnot	Střed intervalu	Absolutní četnost	Poměrná četnost	Absolutní postupná četnost	Poměrná postupná četnost
	h[mm]	x[mm]	n_j[-]	$f_j=n_j/n$[-]	N_j[-]	$F_j=N_j/n$[-]
1	0,370-0,374	0,372	21	0,17	21	0,1693548
2	0,375-0,379	0,377	26	0,2096774	47	0,3790323
3	0,380-0,384	0,382	19	0,1532258	66	0,5322581
4	0,385-0,389	0,387	16	0,1290323	82	0,6612903
5	0,390-0,394	0,392	20	0,1612903	102	0,8225806
6	0,395-0,399	0,397	12	0,0967742	114	0,9193548
7	0,400-0,404	0,402	7	0,0564516	121	0,98
8	0,405-0,409	0,407	3	0,0241935	124	1



Obr.26: Histogram



Obr.27: Graf hustoty četností



Obr.28: Graf distribuční funkce

Na obrázku 27 je graf hustoty četnosti, ze kterého se dá určit hodnota modus, jako nejvyšší hodnota v grafu, který byl z výpočtu roven hodnotě 0,377. Na druhém obrázku 28 je zobrazen graf distribuční funkce, ze kterého lze odečíst medián, jako hodnota při 50% na ose y. Pro tento případ je to 0,382.

Z histogramu je vidět, že se hodnoty nejvíce pohybují kolem aritmetického průměru. Odchylky od průměru se pohybovaly v setinách milimetru, což se dá považovat za zanedbatelnou hodnotu, vzhledem k průměru kuličky. Proto se dá říct, že při defektech souvisejících s přetavením pájecí pasty, není příčinou stroj MY500. Tudíž je zde malé procento chyby, že by stroj nanesl nepoměrně velké množství nebo naopak nedostatečné množství pájecí pasty na danou pájecí plošku.

3. Doporučení pro lepení součástek

3.1 Chyby vzniknuté při lepení součástek

Příliš velké množství lepidla může způsobit, že přebytek lepidla bude součástkou vytlačen na pájecí plošky. Proto se k lepšímu řízení objemu zavádí slepé plošky, na které se nanese lepidlo. Další možné řešení problému je, že se může upravit dávkovací zařízení, nebo v případě tisku lepidla přes šablonu, se může změnit velikost plošek na šabloně, nebo se změní lepidlo, pokud je velmi roztékavé.

Další možnou chybou je nanesení menšího množství lepidla, než je potřebné a následné odpadnutí součástky od desky plošných spojů. Proto je vhodné kontrolovat množství nanášeného materiálu. Také se to řeší úpravou dávkovacího zařízení.

3.2 Všeobecní doporučení pro lepení součástek

Lepení součástek je nevyhnutné pro oboustrannou SMD montáž pro některé součástky a také při něm vznikají defekty, které se dají eliminovat. Pro pájení vlnou je lepení nutno. A pro pájení přetavením je lepení nezbytné pro součástky těžší, než je určitá hmotnost. Lepidlo se nanáší většinou dispenzerem. Může se také nanést pomocí kolíčků (pin-transfer), ale tato technologie se v praxi skoro nepoužívá, kvůli pracnosti. Také je možné nanášet lepidlo sítotiskem nebo šablonovým tiskem. Obecně je známo, že součástky by se měly osadit bezprostředně po nanesení lepidla. Lepidlo by však mělo být takové, aby umožňovalo osazování do 3 hodin po nanesení. U každého výrobce se však může tato doba mírně lišit. Vytvrzováni lepidla se provádí teplem nebo UV zářením.

Proces dávkovaní je charakterizován tím, že velikost kapky je možné přizpůsobit všem velikostem pouzdrům SMD. Pod součástku, mezi pájecí plošky, se může umístit slepá ploška, na kterou se nanese určité množství lepidla. Tím se zabráni roztečení lepidla na pájecí plošky. Před nanášením lepidla není nutno čistit tuto plošku, ale nesmí přijít do kontaktu s rukou. Při nanášení lepidla se musí dodržet zásada, že se lepidlo nesmí dostat na pájecí plošku. Dobré nanesení lepidla lze zajistit výběrem správného průměru jehly nebo trysky. Zpracovatelnost lepidel se mění podle teploty. Proto by mělo být dávkovací zařízení vybaveno regulátorem teploty.

S pomocí lepidla se upevňují větší součástky na desku plošných spojů, dají se utěsnit konektory proti vlhkosti, dají se upevnit vodiče, nebo chránit menší elektronické obvody atd. Pro lepení součástek je důležitá dielektrická pevnost vytvrzeného lepidla.

Lepidla se rozdělují na dvě skupiny, a to vodivé, které se většinou používají pro vytvoření vodivého spoje, a nevodivé, které hlavně slouží k fixaci SMD součástek k desce plošných spojů. Vodivé lepidla jsou dvousložkové. To znamená, že obsahují kovovou a polymerní složku a z hlediska kontaktů mezi vodivými částicemi je možné rozdělit je na izotropní a anizotropní. Nevodivé lepidla jsou jednosložkové

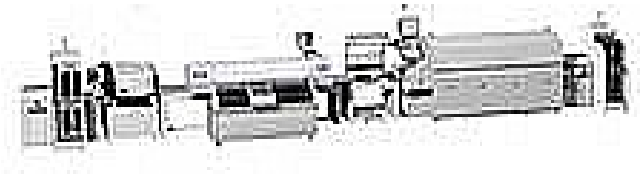
Jeden z dalších způsobu jako předejít defektům způsobeným při oboustranné SMD montáži je umístění lehčích součástek na spodní stranu desky, tj součástek, při kterých se

lepidlo nemusí použít, protože při pájení neodpadnou. Je však třeba pečlivě nastavit teplotní profil.

Lepidla musí splňovat obecně mnoho požadavků, co se týče jejich vlastností a zpracovatelnosti. Musí mít také charakteristické vlastnosti. Například musí být barevné, aby byly dobře viditelné, nesmí navlhat, protože by mohlo dojít ke změně povrchového odporu a všeobecně elektrických vlastností obvodu, který je na desce plošných spojů. Také je nezbytné ukládat lepidla do chladničky a dodržovat skladovací podmínky, které jsou stanoveny výrobcem. Chemické složení nesmí být závadné pro lidský organismus. Nesmí být hořlavé a samozřejmě musí být teplotně odolné při pájení. Musí mít také správnou a stabilnou viskozitu, která se minimálně mění se změnou vlhkosti a teploty. Měli by mít vlastnosti umožňující opravu přilepených součástek[1][2][8].

3.3 Návrhy zefektivnění lepení součástek

Lepení součástek se provádí dávkovací technologií (obr. 29). Počet možných nástavců je pět. Ve firmě se nachází pouze tři a to 1,5 mm, 2,2 mm a 3 mm. Používaným lepidlem je PD 944 SMT Kleber a jako každé lepidlo bylo před použitím skladováno v chladničce.

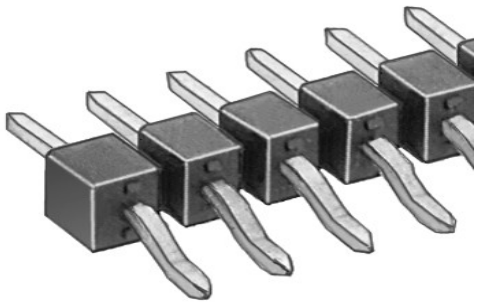


Obr.29: Nanášení lepidla pomocí dávkovacího zařízení.

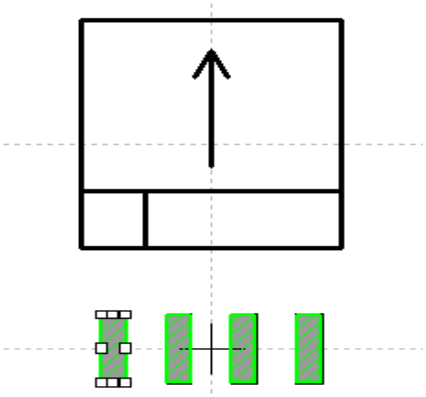
Protože se ve firmě lepidla používají ve velmi malé míře, nemá význam řešit reprodukovatelnost nanášení lepidla. Od času, kdy se přešlo od ručního nanášení lepidla, čímž samozřejmě mohly vzniknout chyby vlivem lidského faktoru, se lepidla nanášejí dávkovací technologií respektive namáčením nástavce určitého průměru do lepidla. V programu se musí určit, která součástka bude lepena a následně se dá také určit i čas ponoru nástavce do lepidla

a časový interval, za který bude lepidlo naneseno na desku plošných spojů. Pro každou součástku, u které je potřebné nanesení lepidla, se vytváří samostatný návrh se všemi potřebnými parametry. Podobně jako u stroje MYDATA MY500 je zde možnost 2D optické inspekce. Existuje však i kontrola, která zjistí, jestli je na daném místě je lepidlo skutečně nanesené. Pod mikroskopem bylo vidět, že nanesené obrazce lepidla byly nepravidelných tvarů, i když jsem nemohla vidět přesný tvar nanesené kapky. Zde je důležité, aby bylo naneseno potřebné množství lepidla, a není až tak důležité, aby byl tvar při každém nanesení stejný. V případě, že po nanesení lepidla, osazení součástky a následných technologických procesech součástka neodpadne z desky, byl proces považován za dobrý a nebyla potřeba další úpravy množství lepidla.

V počátku používání dávkovací technologie nanášení lepidla, byla lepená pouze jedna součástka a to konektor 4PIN SMD (obr.30). Je to SMD součástka, která není váhově rozložená rovnoměrně ve všech částech. Proto byla potřeba použití lepidla u této součástky. Protože lepidlo součástku vyvýšilo, musela se zvýšit i výška pasty, která byla nanášena jenom na jedné straně (obr. 31). Lepidlo bylo nanášeno na 4 části součástky a byl použitý nejmenší nástavec.



Obr.30: Konektor 4PIN SMD



Obr.31: Pájecí plošky pro 4PIN SMD.

Dalším možným řešením problémů v případě, že by bylo potřeba využívat lepení ve větším množství, může být nanesení více kapek lepidla, třeba i menších, pro jednu součástku. Menší nástavce mají objemově menší odchylky než větší nástavce. Případné řešení by bylo v zakoupení dalších dvou možných nástavců s průměry 0,5 mm a 0,8 mm.

Mezi finančně náročnější řešení je použití jiné technologie na nanášení lepidla. V případě použití technologie JetPrinting by se musela zakoupit další tisková hlava pro speciální lepidla. Nevýhodou by bylo to, že by byl proces časově náročnější pro nanášení jednotlivých materiálů, kdy by se musela tisková hlava měnit ihned po nanesení pájecí pasty. Toto řešení by bylo vhodné pro situaci, kdy by se ve firmě začalo lepení používat ve velkém množství a i v takovém případe by se dalo do linky zavést i jiné (levnější) zařízení a to dispenzer. Avšak statistika pro nanášení pájecí pasty technologií JetPrinting byla dost přesná na rozdíl od lepení, což bylo vidět při optické kontrole naneseného lepidla použitou technologií. Takže se dá předpokládat, že i nanášení lepidla technologií JetPrinting by bylo přesnější a nebylo by zde tolik chyb jako u dávkovací technologie. Další nevýhodou této technologie je i rychlost, která je dost nízká. Proto je nevhodná pro velkosériovou výrobu.

Ve firmě se ale lepení používá velice málo, proto jsem se až tak nezaměřila na tuto část technologického procesu. Desky byly navrhovány tak, aby potřeba lepení součástek byla co nejmenší.

ZÁVĚR

Výsledkem mé práce je návrh na celkové zvýšení kvality desek plošných spojů a posouzení vhodnosti technologických zařízení ve firmě Emtest, a.s. Dále eliminace defektů vznikajících při přetavení pájecí pasty a taky doporučení pro lepení součástek pro oboustrannou čistou SMD montáž.

K nanášení pájecí pasty byla použita technologie JetPrinting. Nejčastější příčinou chyb, souvisejících s přetavením pájecí pasty, byl samotný návrh pájecích plošek. Dále pak výška pasty, která se u některých součástek musela měnit. Na statistice reprodukovatelnosti pájecí pasty bylo dokázáno, že příčinou těchto chyb není stroj MY500. V práci je uvedeno, u kterých součástek bylo potřeba změny pájecích plošek jednotlivých součástek. Ve firmě nebyla vedena statistika, kolik desek bylo chybných a pak úspěšnost navrhnutých změn. Bylo to díky flexibilitě stroje MY500, na kterém se mohla ihned realizovat navržená změna pájecí plošky. Takto bylo experimentálně určeno množství pasty i tvar plošek. Byla použita SAC pájecí pasta.

Při lepení součástek byla použita dávkovací technologie. Desky plošných spojů jsou ve firmě Emtest, a.s. navrhovány tak, aby zde byla minimální potřeba lepení součástek, takže se lepení využívalo ve velmi malém rozsahu. Nejčastější chyby byly v případě, když součástka odpadla při pájení. To se však rychle odstranilo úpravou dávkovacího zařízení. V případe zvýšení používání lepení by bylo vhodné uvažovat o přesnější technologií.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1: Detailní pohled na sítotiskový stůl.....10
Obr.2: MY500.....12
Obr.3: Tombstoning efekt.....15
Obr.4: Prasklina v spoji a utržení celého spoje.....16
Obr.5: Pájecí plošky pro rezistory pro pájení vlnou a pájení přetavením.....18
Obr.6: Obecný návrh pájecích plošek pro čipový součástky.....19
Obr.7: Původní návrh footprintov pro rezistor 0603 a upravený návrh.....19
Obr.8: Původní a upravený návrh plošek pro nanesení pájecí pasty pro čipový součástky 0805.....20
Obr.9: Konektor 43045-0806.....21
Obr.10: Původní a změněný návrh pájecích plošek pro konektor 43045-0806.....21
Obr.11: Původní návrh a upravený pro ALPHENOL SIMLO9B.....21
Obr.12: Footprint pro HDMI-471510001.....22
Obr.13: Původní a změněný návrh pájecích plošek pro pouzdro DO- 218AB.....23
Obr.14: Původní a změněný návrh pájecí plošky pro D2PAK.....23
Obr.15: Původní a změněný návrh pro pouzdra DPAK.....24
Obr.16: Původní a změněný návrh pájecích plošek pro BGA.....25
Obr.17: Původní a změněný návrh pájecích plošek pro MINISMDC014F-2.....26
Obr.18: Původní a změněný návrh pájecích plošek součástky MLP6CHL.....26
Obr. 19: Kapky pájecí pasty na kalibračním papírku.....27
Obr.20: Rozložení kapek pájecí pasty pro nejmenší možnou plošku.....28
Obr.21: Výška pasty nastavená na 100% při nejmenší možné plošce.....29
Obr.22: Výška pasty nastavená na 200% při nejmenší možné plošce.....29
Obr.23: Výška pasty nastavená na 300% při nejmenší možné plošce.....29
Obr.24: Pájecí plošky a rozložení při výške pasty 50 % a 100 %.....30
Obr.25: Pájecí plošky po nanesení pájecí pasty při optické kontrole. ….....30

Obr.26: Histogram.....32
Obr.27: Graf hustoty četností.....33
Obr.28: Graf distribuční funkce.....33
Obr.29: Nanášení lepidla pomocí dávkovacího zařízení.....36
Obr.30: Konektor 4PIN SMD.....37
Obr.31: Pájecí plošky pro 4PIN SMD.....38

POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] ABEL,Martin.Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce.1.vyd. Pardubice:nakladatelství Platan,2000. 218s.ISBN 80-902733-2-7.

[2] ŠANDERA,Josef.Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž.1.vyd.Praha:nakladatelství BEN,2006.270s.ISBN 80-7300-181-0.

[3] MYDATA [online]. 2008 [cit. 2009-01-05]. Anglictina. Dostupný z WWW: [www.mydata.com]

[4] MP elektronik : MYDATA [online]. 2008 [cit. 2008-12-10]. Dostupný z WWW: [http://www.mpelektronik.cz/mydata/]

[5] MYDATA announces first stencil-free solder paste printer. *Emsnow* [online]. 2005 [cit. 2008-12-15]. Dostupný z WWW: [http://www.emsnow.com/newsarchives/archivedetails.cfm?ID=10938]

[6] THERIAULT, M., et al. TOMBSTONING IN REFLOW SOLDERING OPERATIONS. *Air Liquide* [online]. 1999 [cit. 2008-12-13]. Dostupný z WWW: [http://publication.airliquide.com/business/industry/electronics/tech_papers/tombstoning_1999.pdf]

[7] HDMI. *Wikipedia* [online]. 2007 [cit. 2008-11-13]. Dostupný z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/HDMI]

[8] Lepení v elektronice. *Elektro* [online]. 2006 [cit. 2008-11-20]. Dostupný z WWW: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38025]

[9] *SMT centrum* [online]. 2007 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: [http://www.smtcentrum.cz/]

Příloha 1

Tabulka 2: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

Pořadí	Průměr nanášeného obrazce pájecí pasty	Odchýlka od aritmetického průměru	Empirický průměr
	[mm]	[mm]	[mm^2]
1	0,4	0,014	0,000196
2	0,376	-0,012	0,000144
3	0,374	-0,014	0,000196
4	0,386	-0,002	4E-06
5	0,407	0,019	0,000361
6	0,392	0,004	0,000016
7	0,374	-0,014	0,000196
8	0,376	-0,012	0,000144
9	0,375	-0,013	0,000169
10	0,376	-0,012	0,000144
11	0,375	-0,013	0,000169
12	0,397	0,009	8,1E-05
13	0,383	-0,005	0,000025
14	0,37	-0,018	0,000324
15	0,387	-0,001	0,000001
16	0,39	0,002	4E-06
17	0,374	-0,014	0,000196
18	0,389	0,001	0,000001
19	0,373	-0,015	0,000225
20	0,395	0,007	4,9E-05
21	0,388	0	0
22	0,395	0,007	4,9E-05
23	0,386	-0,002	4E-06
24	0,395	0,007	4,9E-05
25	0,408	0,02	0,0004
26	0,401	0,013	0,000169
27	0,399	0,011	0,000121

28	0,393	0,005	0,000025
29	0,39	0,002	4E-06
30	0,396	0,008	6,4E-05
31	0,388	0	0
32	0,371	-0,017	0,000289
33	0,375	-0,013	0,000169
34	0,375	-0,013	0,000169
35	0,372	-0,016	0,000256
36	0,391	0,003	9E-06
37	0,375	-0,013	0,000169
38	0,371	-0,017	0,000289
39	0,392	0,004	0,000016
40	0,377	-0,011	0,000121
41	0,407	0,019	0,000361
42	0,375	-0,013	0,000169
43	0,374	-0,014	0,000196
44	0,373	-0,015	0,000225
45	0,371	-0,017	0,000289
46	0,376	-0,012	0,000144
47	0,379	-0,009	8,1E-05
48	0,376	-0,012	0,000144
49	0,37	-0,018	0,000324
50	0,39	0,002	4E-06
51	0,388	0	0
52	0,392	0,004	0,000016
53	0,394	0,006	3,6E-05
54	0,402	0,014	0,000196
55	0,386	-0,002	4E-06
56	0,39	0,002	4E-06
57	0,393	0,005	0,000025
58	0,392	0,004	0,000016
59	0,382	-0,006	3,6E-05
60	0,37	-0,018	0,000324
61	0,381	-0,007	4,9E-05
62	0,386	-0,002	4E-06
63	0,379	-0,009	8,1E-05

64	0,381	-0,007	4,9E-05
65	0,37	-0,018	0,000324
66	0,37	-0,018	0,000324
67	0,373	-0,015	0,000225
68	0,39	0,002	4E-06
69	0,394	0,006	3,6E-05
70	0,379	-0,009	8,1E-05
71	0,374	-0,014	0,000196
72	0,37	-0,018	0,000324
73	0,382	-0,006	3,6E-05
74	0,385	-0,003	9E-06
75	0,393	0,005	0,000025
76	0,39	0,002	4E-06
77	0,383	-0,005	0,000025
78	0,397	0,009	8,1E-05
79	0,396	0,008	6,4E-05
80	0,39	0,002	4E-06
81	0,401	0,013	0,000169
82	0,386	-0,002	4E-06
83	0,382	-0,006	3,6E-05
84	0,38	-0,008	6,4E-05
85	0,379	-0,009	8,1E-05
86	0,371	-0,017	0,000289
87	0,37	-0,018	0,000324
88	0,384	-0,004	0,000016
89	0,378	-0,01	0,0001
90	0,397	0,009	8,1E-05
91	0,375	-0,013	0,000169
92	0,384	-0,004	0,000016
93	0,385	-0,003	9E-06
94	0,386	-0,002	4E-06
95	0,381	-0,007	4,9E-05
96	0,377	-0,011	0,000121
97	0,383	-0,005	0,000025
98	0,381	-0,007	4,9E-05
99	0,394	0,006	3,6E-05

100	0,391	0,003	9E-06
101	0,396	0,008	6,4E-05
102	0,39	0,002	4E-06
103	0,388	0	0
104	0,87	0,482	0,232324
105	0,4	0,012	0,000144
106	0,39	0,002	4E-06
107	0,378	-0,01	0,0001
108	0,383	-0,005	0,000025
109	0,4	0,012	0,000144
110	0,381	-0,007	4,9E-05
111	0,401	0,013	0,000169
112	0,376	-0,012	0,000144
113	0,382	-0,006	3,6E-05
114	0,371	-0,017	0,000289
115	0,384	-0,004	0,000016
116	0,384	-0,004	0,000016
117	0,379	-0,009	8,1E-05
118	0,376	-0,012	0,000144
119	0,38	-0,008	6,4E-05
120	0,373	-0,015	0,000225
121	0,378	-0,01	0,0001
122	0,375	0,375	0,140625
123	0,371	0,371	0,137641
124	0,374	0,374	0,139876