

Technologie tisku pájecí pasty

Soldering Paste Printing Technology

Martin Janáč

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin JANÁČ**
Osobní číslo: **A07045**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Technologie tisku pájecí pasty**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu a informační nabídku internetových portálů v oboru tisku pájecí pasty.
2. Zpracujte získané materiály ve formě elektronické příručky poskytující údaje o problematice tisku pájecí pasty s důrazem na specifika tohoto procesu. Věnujte se i typickým poruchám tohoto procesu a jejich příčinám, pokud jsou uváděny.
3. Uveďte příklady konstrukce a funkcí základních modulů tiskáren pájecí pasty. Zmiňte i pomocné moduly ve vazbě na technologii tisku a kontrolu kvality potisku.
4. V souvislosti s technologií tisku uveďte příklady složení pájecí pasty a funkci jejich komponent. Pojednání doplňte o tiskové šablony a technologii jejich výroby.
5. Pojednání o problematice tisku pájecí pasty doplňte prezentací v programu PowerPoint koncipovanou jako školicí pomůcku.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Abel, M.: SMT -- Technologie povrchové montáže, Nakladatelství Platan, 2000**
2. **Lea, C.: A Scientific Guide To Surface Mount Technology, Electrochemical Publications, 1988**
3. **Mach, P., Skočil, V., Urbánek, J.: Montáž v elektronice, Vydavatelství ČVUT, Praha 2001**
4. **Starý, J., Kahle, P.: Plošné spoje a povrchová montáž, Vydavatelství VUT v Brně, 2005**
5. **Noble, A.: Printing Paste Without Stencils, Electronic Production, October 2000**
6. **Internetové zdroje: www.nist.gov a další dle tématu**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Neumann, Ph.D.**
Ústav elektroniky a měření


Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou technologie tisku pájecí pasty. V teoretické části se snaží čtenáře seznámit s pájecí pastou, jejími typy, složením, požadavky, které pasta musí splňovat, způsoby nanášení pasty na pájené spoje postup skladování, který by se měl dodržet kvůli spolehlivosti pájecí pasty. V praktické části se práce zabývá aplikační technologií, kterou vzniká pájený spoj. Jsou zde popsány základní moduly tiskárny a faktory, které ovlivňují samotnou kvalitu tisku a samozřejmě také defekty, které vznikají při špatném procesu.

Klíčová slova:

Pájecí pasta, sítotisk, šablona, stěrka, defekt, pájitelnost, pájka, tavidlo

ABSTRACT

The bachelor thesis deal with the soldering paste printing technology. In the theoretic part is trying to acquaint the reader with solder paste, types, composition, requirements that paste must meet, ways of applying solder paste to the soldered joints, stored procedure that should be followed because of the reliability of solder paste. The practical part of the work deals with the soldered joints created by application of technologies. There are described basic modules of the printer and the factors that influences the quality of printing and of course, the defects that arise during the process wrong.

Keywords:

Solder paste, green, stencil, squeegee, defect, solderability, solder, flux

Děkuji Ing. Petru Neumannovi, PhD. za vedení bakalářské práce, poskytování odborných rad a doporučení užitečných materiálů a velkou ochotu.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 7. června 2011

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PÁJECÍ PASTA	11
1.1 TYPY PÁJECÍCH PAST	11
1.2 SLOŽENÍ PÁJECÍ PASTY	15
1.2.1 Základní složky pájecí pasty	15
1.3 ZNAČENÍ PÁJECÍ PASTY	19
1.4 POŽADAVKY NA PÁJECÍ PASTU	20
1.5 SLEDOVÁNÍ VLASTNOSTÍ PÁJECÍCH PAST	20
1.6 ZPRACOVÁNÍ PÁJECÍ PASTY	21
1.7 NANÁŠENÍ PÁJECÍ PASTY	22
1.7.1 Ruční způsob dávkování	23
1.7.2 Strojní způsob dávkování	24
1.8 SKLADOVÁNÍ PÁJECÍ PASTY	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
2 APLIKAČNÍ TECHNOLOGIE	28
2.1 SÍTOTISK	28
2.1.1 Možnosti nanášení pasty sítotiskem	33
2.2 ŠABLONOVÝ TISK	35
2.2.1 Šablony	38
2.3 STĚRKY	46
2.4 KVALITA TISKU	47
3 DEFEKTY PÁJECÍ PASTY	49
3.1 SOLDER BALLING	49
3.2 SOLDER BEADS	50
3.3 SOLDER BALLS ZPŮSOBENÉ ŠPATNÝM TISKEM	51
3.4 POOR WETTING	52
3.5 OPEN SOLDER JOINTS	53
3.6 SHORT CIRCUITS (PÁJKOVÉ MŮSTKY)	54
3.7 NEDOSTA TEČNÉ MNOŽSTVÍ PÁJKY NA SPOJ	55
3.8 TOMBSTONING EFEKT	56
ZÁVĚR	57
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	58

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	59
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	61
SEZNAM OBRÁZKŮ	62
SEZNAM TABULEK	64

ÚVOD

Pájení patří mezi nejrozšířenější a také hlavně mezi nejspolehlivější metody spojování součástek, které se používají v mikroelektronickém průmyslu.

Jedním ze způsobů pájení je také tisk pájecí pasty, čímž rozumíme nanesení pasty mezi povrchy pájených předmětů a po ohřevu jsou tyto předměty spojeny.

Pájecí pasta může být nanášena na povrch více způsoby, přičemž nejpoužívanější je nanášení pomocí sítotisku, nanášení přes šablonu nebo dispenzerem. Dávkování pasty je prováděno buďto ručně nebo strojní technikou.

S rostoucí kvalitou přístrojů rostou i nároky na jakost pájených spojů.

Při správném nanesení a přetavení vzniká velmi kvalitní spoj, který vydrží dlouhou dobu. Důležitým faktorem ke kvalitnímu spoji je kromě samostatného tisku také dobrý způsob skladování pasty při nízkých teplotách.

Pokud nejsou dodržena všechna základní pravidla, je spoj vytvořený přetavením pájecí pasty nekvalitní, někdy dokonce vůbec nemusí povrch pájeného spoje vůbec držet. Těchto poruch se však dá předcházet dobrou připraveností.

I. TEORETICKÁ ČÁST

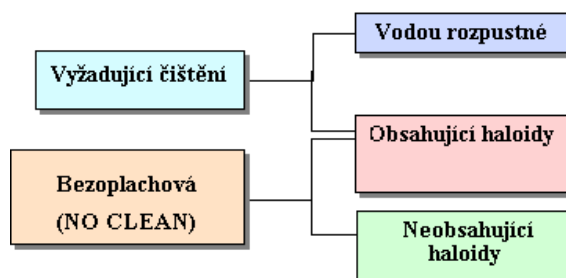
1 PÁJECÍ PASTA

Technologie využívající přetavení pájecí pasty má některé přednosti ve srovnání se strojním pájením vlnou. Hlavní výhodou je nanesení definovaného množství pájky a tavidla na pájený spoj a reprodukovatelnější kvalit spoje. Základem je volba vhodné pájecí pasty i technologie zpracování. Na pájecí pasty jsou kladeny stále vyšší požadavky v závislosti na vyšších zástavbových hustotách, rychlejších procesech montáže i teplotních požadavcích, které musí splňovat teplotní profil.

Pájecí pasta sestává z organického tavidla a z mikronizované kovové slitiny (obvykle velikosti 20-45 mikronů pro elektronické typy). Poměr je obecně 50:50 objemově. Tavidlo se skládá většinou z přírodní kalafuny, která propůjčuje jisté tekuté vlastnosti pastě a je nosičem slitiny. Částice slitiny, jakmile se jednou roztaví, vytvoří spojitou pájku, realizující pevný spoj. Pro pájení elektroniky se obvykle používají slitiny cínu, olova a stříbra. Pájka v této podobě může být nanesena na desku s tištěnými spoji šablonou, sítotiskem nebo dávkovačem. Obecně nejčastěji používaná forma aplikace pájecí pasty je tisk šablonou.

1.1 Typy pájecích past

V současnosti je dostupných mnoho typů past. Tyto produkty jsou obecně rozděleny podle typu použitého tavidla obsaženého v pájecí pastě.



Obr. 1 Rozdělení pasty podle typu použitého tavidla

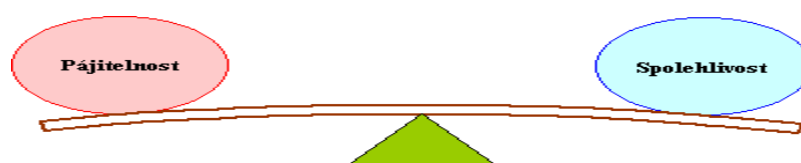
Vodou rozpustné pájecí pasty se musí čistit čistou de-ionizovanou vodou. Všechny bezoplachovací pájecí pasty, s i bez haloidů, obsahují pryskyřici a proto je na čištění výrobci doporučen saponát. Většinu z pájecích past bez haloidů je nicméně docela obtížné čistit a vždy zanechají bílé zbytky. Hlavní složka, která zůstává na desce po čištění, jsou normálně tixotropní materiály. Protože tixotropní materiály, které se lehko čistí, mají problémy s odolností proti zhroucení pájecí pasty po tisku, neklade se při výběru těchto látek velká pozornost na jejich čistitelnost, větší důraz je kladen na jejich odolnost proti sesunutí pájecí pasty.

Zvětšující se hustota součástek donutila průmysl implementovat bezoplachovací proces (no-clean). Jak se požadavky na snadnou zpracovatelnost a spolehlivost zpříšňovaly, vývoj bezoplachových pájecích past se tomu musel přizpůsobit.

Častým omylem je, že no-clean pájecí pasta musí být bez haloidů. Nicméně pájecí pasta s haloidy může být také použita pro bezoplachový proces, protože rozhodnutí o nutnosti čištění musí být v souladu s požadavky na spolehlivost finálního výrobku.

Ve skutečnosti se pájecí pasta s obsahem haloidů (0.2%) používá pro bezoplachovou výrobu v Japonsku častěji jak pasta bez haloidů.

Pro porovnání, pasta s haloidy je lépe zpracovatelná a pájitelná ale vykazuje horší spolehlivost a izolační odpor jak pasta bez haloidů. To bývá přisuzováno její lepší schopnosti aktivace. Vztah mezi pájitelností a spolehlivostí se dá zobrazit jako houpačka.



Obr. 2 Vztah mezi pájitelností a spolehlivostí

Proto pro no-clean proces vyžadující vysokou úroveň spolehlivosti je žádoucí použít pastu bez haloidů, ale se stejnou pájitelností jako má pasta s haloidy aby bylo dosaženo co nejvolnějšího procesu pro usnadnění výroby.

Nicméně je pravda, že hlavním problémem no-clean pájecích past bez haloidů je vylepšení aktivace. Většina pájecích past bez haloidů obsahuje organické kyseliny jako aktivátor místo haloidů aby si uchovala zaručené aktivační schopnosti. Existuje velké množství organických kyselin, u kterých obecně platí, že nižší molekulární hmotnost znamená větší aktivační schopnosti. A protože aktivační schopnosti organických kyselin jsou mnohem menší než haloidů, tavidlo musí obsahovat větší množství těch relativně neaktivnějších.

Nicméně tyto organické kyseliny s vysokou aktivační schopností mají tendenci absorbovat vlhkost. Proto je zde riziko, že zbytky tavidla na povrchu desky se mohou ionizovat reakcí s vlhkostí, což by zhoršilo elektrické vlastnosti jako je povrchový izolační odpor či elektromigrace.

Aktivační systém v pájecích pastách KOKI¹ používá kombinaci organických kyselin s nižší navlhavostí a speciálně vyvinutých neionogenních aktivátorů.

I když tyto speciální aktivátory se neionizují a nerozkládají a jsou elektricky velmi stabilní a bezpečné, mají stejné aktivační schopnosti jako haloidy. Protože je teplota aktivace neionizujících aktivátorů relativně vysoká, jejich kombinace s pečlivě vybranými organickými kyselinami zaručuje delší dobu aktivace při přetavení a tím zlepšuje jejich pájitelnost a zároveň zaručuje vynikající spolehlivost.

Pájecí pasta je zahrnuta v následujících etapách výroby:

Skladování › Tisk › Osazování › Přetavení › Kontrola › Čištění

¹ Firma vyvíjející inovativní pájecí materiály

V každé z těchto etap musí pájecí pasta vykazovat dobré vlastnosti v následujících charakteristikách:

Skladování	Stabilita vlastností (viskozita, hájitelnost, atd.)
Tisk	Tisk jemných roztečí (0,5 mm) Trvanlivost tisku (Stencil life) Doba prostoje tisku (Stencil idle life) Roztíratelnost Oddělování od stěrky Rychlost tisku Změna viskozity Vyplňování otvorů šablony Mazání
Osazování	Trvanlivost přichycení Síla přichycení Odolnost proti zhroucení pasty
Přetavení	Zkratky Kapičky cínu na krajích součástek Minikuličky cínu Tombstoning (zvedání součástek) Smáčení
Kontrola	Vizuální čistota (zbytky tavidla)
Čištění (u past vyžadujících čištění)	Vizuální čistota Kontaminace ionty

Tab. 1 Etapy výroby pájeného spoje

Žádný výrobce doposud nevyvinul pájecí pastu, která by perfektně splňovala všechny uvedené vlastnosti.

1.2 Složení pájecí pasty

Pájecí pasta je homogenní směs pastovité konzistence a skládá se z práškové pájky (65 – 96% hmotnostních), gelového tavidla (tavidlový nosič, aktivátor, rozpouštědlo) a reologického modifikátoru.

1.2.1 Základní složky pájecí pasty

- **Prášková pájka**

Je charakterizována velikostí částic, jejich tvarem i typem pájecí slitiny. Prášková pájka se ve velké míře podílí na kvalitě tisku, roztékání i na smáčecích charakteristikách a předurčuje teplotu tavení.

- Velikost a tvar částic

Preferují se kulovité částice, ale ve většině pájecích past se vyskytuje až 15% elipsoidů a cca 1% částic jiných tvarů. Jmenovitá velikost částic a jejich zastoupení v hmotnostních procentech jsou udány v tabulkách²:

TYP	80% ČÁSTIC	MAX 10% ČÁSTIC	ŽÁDNÁ VĚTŠÍ NEŽ
1	150 – 75 μm	menších než 20 μm	160 μm
2	75 – 45 μm	menších než 20 μm	80 μm
3	42 – 25 μm	menších než 20 μm	50 μm

Tab. 2 Tabulka jmenovité velikosti 80%částic

² Vyrábí se i pájecí pasty s velikostí částic 25 ÷ 75 μm

TYP	90% ČÁSTIC	MAX 10% ČÁSTIC	ŽÁDNÁ VĚTŠÍ NEŽ
4	38 - 20 μm	menších než 20 μm	40 μm
5	25 - 15 μm	menších než 15 μm	30 μm
6	5 - 15 μm	menších než 5 μm	20 μm

Tab. 3 Tabulka jmenovité velikosti 90%částic

Někdy se pájecí pasty značí dle sít používaných pro prosívání částic pájecí slitiny

znaménko minus – částice projdou sítím

znaménko plus – částice neprojdou sítím

typ 2: –200/+325 mesh

typ 3: –325/+500 mesh

Velikost částic pájecí pasty se volí podle nejmenší apertury šablony. Často se používá pravidlo 3D, tj. do nejmenší apertury v šabloně by se měly jak na výšku tak i na šířku vejít 3 kuličky pájecí pasty největšího průměru. Určujícím faktorem je vzdálenost vývodů součástky a tloušťka šablony.

- Typ pájecí slitiny

Pájecí slitiny se používají pro rozdílné zástavbové hustoty montážních a propojovacích sestav, často oboustranně pájených s různými typy pouzder. Proto se různí i požadavky. Nejdůležitější jsou následující parametry: teploty liquidu a solidu, fázový diagram, povrchové napětí slitiny (hraje klíčovou roli při sočivosti a tudíž i pájitelnosti), teplotní koeficient délkové roztažnosti (TCE), elektrická a tepelná vodivost aj. Základní typy pájecích slitin jsou uvedeny v tabulce:

TYP SLITINY	TEPLOTA SOLIDU [°C]	TEPLOTA LIQUIDU [°C]	POZNÁMKA
58Bi42Sn	138	138	E
43Sn43Pb14Bi	144	163	
62Sn36Pb2Ag	179	179	E
63Sn37Pb	183	183	E
60Sn40Pb	183	193	
90Pb10Sn	268	302	

Tab. 4 Základní typy pájecích slitin

Výraznou měrou ovlivňuje viskozitu pájecí pasty i teplotní změny viskozity (se vzrůstem kovového podílu se zmenšuje vliv teploty na viskozitu).

Oxidy v pájecí pastě

Oxidy kovů musí být zastoupeny v minimální míře.

Nevhodným skladováním i stárnutím pasty se zvyšuje jejich obsah. Oxidy kovů mají výrazně vyšší teploty tavení, např. $\text{SnO}_2 > 1930^\circ\text{C}$, $\text{PbO} > 890^\circ\text{C}$. Vyšší podíl oxidů přináší mnohé problémy při pájení přetavením pasty (např. „solder balling“ aj. Větší podíl oxidů se vyskytuje u pájecích past s menšími zrny pájecí pasty (dáno větší oxidující plochou pájky)

- Tavidlo

Tavidlo urychluje smáčecí proces a tak napomáhá k vytvoření spolehlivého pájeného spoje. Má následující funkce:

- odstraňuje nečistoty a reakční produkty ze spojovaných povrchů a umožní tak pájce, aby se dobře roztekla – tj. fyzikální funkce
- zlepšuje přenos tepla – tj. fyzikální funkce
- odstraňuje oxidy ze spojovaných povrchů a brání jejich deoxidaci – tj. chemická funkce

Používají se tavidla prstovité formy na bázi přírodní pryskyřice (RO) syntetické pryskyřice (RE) a organických kyselin (OR) s různou úrovní aktivace (nízká aktivace L0 – bez halogenidů), L1 (do

0,5% halogenidů), střední aktivace M0 – bez halogenidů, M1 (0,5 – 2% halogenidů), event. s vysokou úrovní aktivace H0 a H1. Rozpouštědlo se podílí ve značné míře na zasychavosti pasty, preferují se rozpouštědla s nižšími tenzemi par (pomalejším odpařováním). Gelové tavidlo obsahuje zpravidla 60 – 70% pryskyřic a aktivátorů i 40 – 30% rozpouštědla.

Tavidlo se ve velké míře podílí na chování pasty během tisku i po natisknutí, na smáčecích charakteristikách a na výsledné kvalitě pájeného spoje. Nová generace tavidel v pájecích pastách musí mít široké technologické okno při zpracování. Během pájení musí vykazovat konstantní a velmi dobré smáčecí charakteristiky s minimální závislostí na teplotě a času před vlastním přetavením.

- Reologické modifikátory

Popisují změny v chování pájecí pasty, zejména změny v tečení a deformaci vlivem působících faktorů: tlaku při tisku, rychlosti pohybu stěrky, teploty aj.

Reologické vlastnosti se zabývají viskózně elastickými změnami v chování pájecí pasty v dynamickém režimu. Reologické vlastnosti nezahrnují sledování statických a strukturálních vlastností pájecí pasty.

Reologické chování pájecí pasty je dáno složením pájecí pasty, tvarem a velikostí částic, strukturou tavidlového pojiva i vzájemným fyzikálně chemickým působením mezi jednotlivými složkami pájecí pasty včetně smáčení i rozpouštění.

Hlavní reologické vlastnosti u pájecí pasty jsou: viskozita a tixotropnost. Požadované reologické vlastnosti pasty se upravují reologickými modifikátory, které ovlivňují zejména:

- chování pasty během tisku i po natisknutí
- smáčecí charakteristiky
- výslednou kvalitu pájeného spoje

Tixotropnost je druhem strukturní viskozity, která se vyznačuje poklesem viskozity pájecí pasty při mechanickém smykovém namáhání (tisku) a opětovným stoupením viskozity,

přestává-li mechanické působení.

Měření viskozity se používá jako indikátor konzistence pájecí pasty. Viskozita je

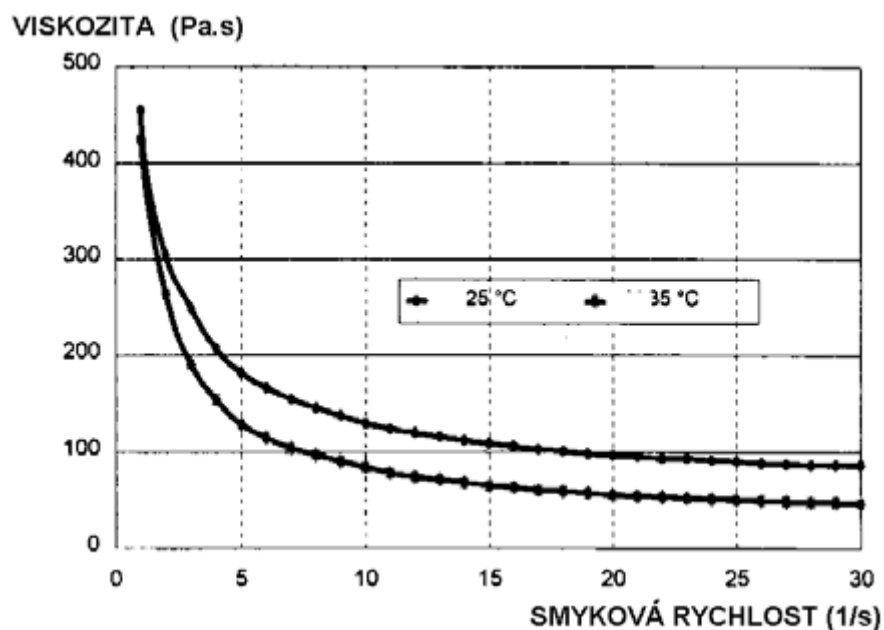
definována Newtonovým zákonem jako poměr namáhání ve smyku a smykové rychlosti.

$$\eta = \tilde{\tau}D, \text{ (Pa.s, Pa.s-1)} \quad \tilde{\eta} \text{ viskozita, } \tilde{\tau} \text{ namáhání ve smyku, } D \text{ – smyková rychlost}$$

$$\tau = F/A, \text{ (Pa, N, m}^2\text{)} \quad \tau \text{ namáhání ve smyku, } F \text{ – smyková síla, } A \text{ – velikost povrchu}$$

$$D = v/h, \text{ (s}^{-1}\text{, ms}^{-1}\text{, m)} \quad D \text{ – smyková rychlost, } v \text{ – rychlost, } h \text{ - tloušťka deformovaného tělesa (pasty)}$$

Viskozita je poměrně značně závislá na teplotě (změna teploty o 1°C zvýší viskozitu až o 5%)



Obr. 3 Závislost viskozity na teplotě

1.3 Značení pájecí pasty

Některé firmy uvádějí specifikaci se složením pájecí pasty přímo na obale:

- dle normy DIN 32513: např. L : Sn62Pb36Ag2 / F – SW-32 / 90 - 2
- ↙
↙
↙
↘
- složení pájky
typ tavidla
hmotnostní % kovu
velikost částic

1.4 Požadavky na pájecí pastu

Líší se podle jednotlivých aplikací. Hlavní důraz je kladen na tisk pasty, přetavení a testování.

- Během tisku a po natisknutí:

dobré tiskové vlastnosti pasty, zejména tixotropnost, stabilita pasty na šabloně, minimální zasychání na šabloně, ostrý obrazec natisknuté pasty, rozměrová stabilita pasty po tisku

- Během dávkování:

minimální separace složek, malý frikční koeficient, minimální „tahání vláken“, žádné vzduchové bubliny

- Při osazení:

dobrá lepivost, dlouhá doba lepivosti

- Během přetahovacího cyklu a po přetavení:

přetavovací profil: velké technologické okno

pájený spoj: vzhled spoje (lesklý, hladký), tvar spoje (správný smáčecí úhel), nesmí být přítomny kuličky pájky

rezidua: minimální množství, bez migrací ve vlhku, stálý a vysoký SIR, rezidua na ploškách a spojích, čirý vzhled

- Čištění:

snadné čištění i rozpustnost v izopropanolu

- Testování:

kompatibilita s testovacím procesem

1.5 Sledování vlastností pájecích past

U pájecí pasty se měří viskozita, a provádí se solder balling test, test lepivosti, test smáčivosti. Dále se sleduje roztékavost a sedavost pájecí pasty.

Na spolehlivost pájeného spoje má zásadní vliv i tavidlo použité v pájecí pastě. U

tavidlových zbytků se měří ionizovatelné nečistoty, SIR (povrchový izolační

odpor), elektromigrace a provádí se test na měděné zrcadlo.

Používají se normy: ANSI J-STD-005 a DIN 32513

1.6 Zpracování pájecí pasty

Požadavky během tisku a po natisknutí:

Dobré tiskové vlastnosti pasty, zejména tixotropnost, stabilita pasty na šabloně, minimální zasychání na šabloně, ostrý obrazec natisknuté pasty, rozměrová stabilita po tisku, minimální vliv zvýšené vlhkosti i teploty na viskozitu pájecí pasty.

- Nanášení:

Pájecí pasta se nanáší na požadovaná místa na DPS sítotiskem nebo pomocí šablony a dispečerem. Doba zpracování pájecí pasty nám udává, po jakou dobu má pájecí pasta stabilní tiskové vlastnosti a viskozitu. Doba zpracování je ovlivněna zejména tixotropními vlastnostmi, tlakem par rozpouštědla a hydrofobními vlastnostmi aktivátorů. Novější typy past vykazují velmi dobré tiskové charakteristiky a po časových prodlevách 60 – 90 minut, s minimálním zaschnutím pasty v aperturách. Rychlosti tisku pájecích past se pohybují v rozsahu 10 – 200 mm/s. Přítlak až 5kg/cm délky stěrky.

- Přetavení pájecí pasty:

Pájecí pasta s osazenými SMD prvky je přetavena v přetahovacím (reflow) tunwlu, s podélným teplotním profilem dle doporučení výrobce. Všeobecně se vyžaduje širší technologické okno (větší rozsah pracovních časů i teplot).

- Čištění tavidlových zbytků:

Odstranění tavidlových zbytků (je-li požadováno) se provádí čistícím prostředkem dle doporučení výrobce, případně jinými prostředky kompatibilními s DPS, součástkami i montážním procesem

- Skladování:

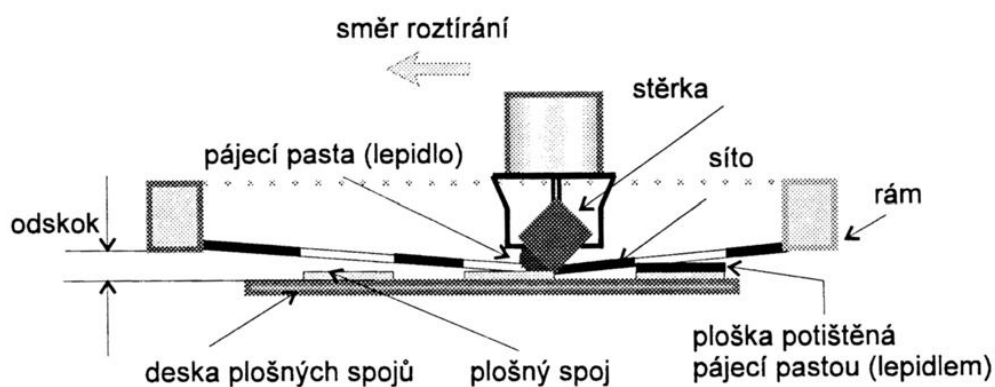
Pájecí pasta by se měla skladovat v chladničce při teplotách 2 – 6 °C. Maximální doba skladování neotevřených zásobníků je 6 – 12 měsíců.

1.7 Nanášení pájecí pasty

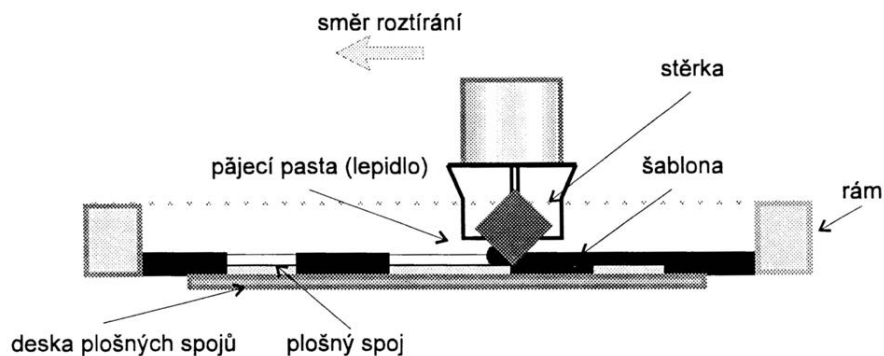
Pájecí pasta se nanáší na požadovaná místa DPS sítotiskem, tiskem přes šablonu nebo dispenzerem (dávkovačem). Doba zpracování pájecí pasty udává, jakou dobu má pájecí pasta stabilní viskózní a tiskové vlastnosti a je závislá především na složení pájecí pasty. U současných typů pájecích past je dobrá zpracovatelnost i po 60-90 minutách, kdy pasta vykazuje jen minimální zasychání.



Obr. 4 Nanášení pájecí pasty dispenzerem



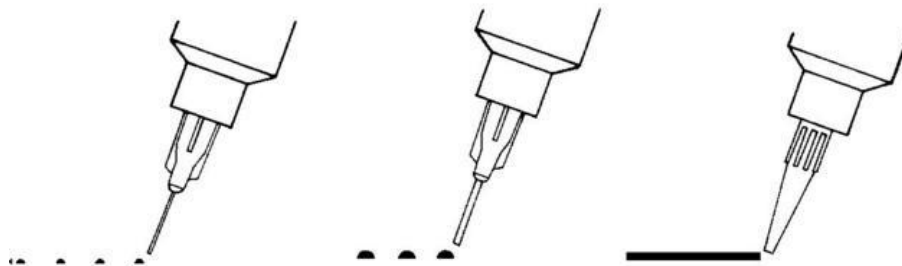
Obr. 5 Nanášení pájecí pasty sítotiskem



Obr. 6 Nanášení pájecí pasty tiskem přes šablonu

1.7.1 Ruční způsob dávkování

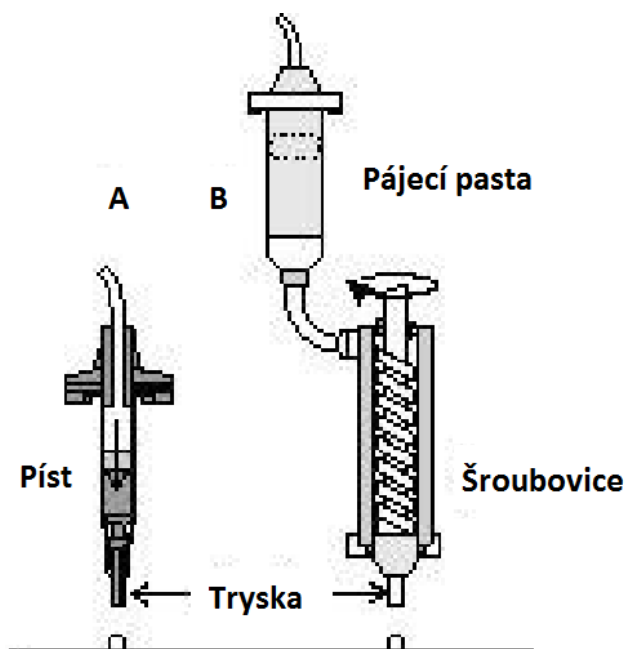
Ruční dávkování je vhodné pro nízké objemy pájení nebo opravy. Velice levně a rychle je možné nanést pastu na požadované místo. Oblíbené je hlavně u ručních opravárenských pracovišť.



Obr. 7 Dávkování pájecí pasty.

Dávkování pájecí pasty. Podle požadovaného množství se volí průměr jehly. U některých zařízení jsou kartuše s pájecí pastou vyhřívány, tím se docílí stejnoměrné viskozity pasty v celém objemu, nezávisle na kolísání teplot, ve kterých zařízení pracuje.

1.7.2 Strojní způsob dávkování



Obr. 8 Dva druhy strojního dávkování

Strojní dávkování pasty se používá jako alternativa k tisku přes síto nebo šablonu. Ideální je takový způsob využít tam, kde se vyrábí velké množství typů desek a není ekonomicky výhodné vyrábět nákladné šablony. Způsob A je stejný jako ruční dávkování s tím rozdílem, že na píst tlačí vzduch. Tento způsob je nejrozšířenější. Způsob B patří mezi kvalitnější. Pasta je tlačena šroubovicí na desku plošného spoje. Uvedené procesy umožňují přesné dávkování pájecí pasty a tudíž splnění nejvyšších požadavků na jakost a spolehlivost pájených míst. Navíc se tím snižuje spotřeba tavidla a pájky.

1.8 Skladování pájecí pasty

Po obdržení pájecí pasty v kelímku, nebo v zásobnících by se na každý obal měl nalepit štítek a na něj napsat datum, kdy byla uložena do ledničky, ve které by měla být nastavena ideální teplota 5 – 10°C. Pájecí pasta nesmí nikdy zmrznout.

Životnost pasty:

- 1) 5 – 10°C: 6 měsíců od data výroby
- 2) 20°C: 1 měsíc od data výroby
- 3) 30°C: 1 měsíc od data výroby

Pájecí pasta se před použitím musí ustálit na okolní teplotě a to znamená, že by se měla vyjmout z lednice 24 hodin, před tím, než se s ní začne pracovat na lince. Po vyjmutí z lednice by se měl napsat na štítek záznam času a data, kdy byla pájecí pasta vyjmuta.



Obr. 9 Pájecí pasta v kelímku se štítkem

Je důležité dodržovat zásady FIFO³. Jakmile byla pasta vyjmuta z ledničky, ideálně by se tam už neměla vracet. Po ustálení teploty pasty na okolní teplotě je pasta připravena k použití. Před použitím pasty se musí překontrolovat podle informací na štítku, zda byla pasta na okolní teplotě dostatečný čas. Pasta má životnost po ustálení na okolní teplotě obvykle jeden měsíc. Pro ukládání pájecí pasty na lince by měl být zaveden systém, jež je vyobrazen na obrázku níže.

³ *First – In – First – Out, pasta vložená do ledničky jako první by měla být jako první použita*



Obr. 10 Skladování pasty na lince

V levém zásobníku jsou umístěny nádoby s pastou, které čekají na ustálení teploty.

Po 24 hodinách od vyjmutí z ledničky je na štítek vypsáno datum a čas a nádobka je přesunuta do prostředního zásobníku a tedy připravena k výrobě.

Ve třetím zásobníku je uložena nádoba pro právě používanou pastu. V této nádobě se ukládá pasta během čištění šablony nebo stroje. V této nádobě je pasta, která musí být použita nejdříve a je doplňována pastou v tiskárně. Tato nádoba se musí po každém použití vyčistit.

Nikdy se nesmí použitá pasta dávat do kelímku s čerstvou pastou.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 APLIKAČNÍ TECHNOLOGIE

Nejrozšířenější metodou pro nanášení pájecích past je sítotisk nebo šablonový tisk a dispenze. V omezené míře se používají i jiné metody např. pin transfer. Zařízení se používají od nejjednodušších ručních, poloautomatických až po automatická in line nebo off line začleněná do automatických výrobních linek.

Platí zásada: dobře natisknuto – z poloviny napájeno

2.1 Sítotisk

Základní princip výroby desky plošných spojů (DPS) je poměrně jednoduchý. Na sklolaminátovou desku s předem vytvořenými strukturami vodičů a pájecích ploch se sítotiskem nanese pájecí pasta s lepicími vlastnostmi. Deska se poté osadí elektronickými součástkami a po zatavení v peci může být DPS zamontována do výrobku, pro který byla zkonstruována. Od principu k hromadné výrobní technologii však bývá dlouhá cesta. Průmyslová výroba desek s plošnými stroji totiž vyžaduje celou řadu špičkových technologií. Postupy při výrobě DPS jistě patří k technologiím typu high-tech. Důležité místo mezi nimi zaujímá také technologie sítotisku.

Pájecí pasta má v zásadě dvě složky. První je organická o specifické hustotě vody (1,0), druhá, tvořená kuličkami, je těžší. Dříve se používalo olovo, nyní převažuje cín s malým podílem stříbra a mědi. Tak složitě médium, jakým je pájecí pasta, vyžaduje samozřejmě také specifickou technologii nanášení sítotiskem. Miniaturní kuličky v pastě musejí být ideálně sférické, právě kvůli bezproblémovému nanášení pasty na DPS technologií sítotisku. Organické médium, které spojuje kuličky, má tixotropní charakter. Při míchání se původně tužší pasta začne rozlévat. Když se materiál hrne stěrkou přes šablonu, zatéká do štěrbin a tuhne. Když se potom stěrka zvedá, pasta na stříhové hraně na okamžik přejde do tekutější fáze, takže se materiál dokáže přesně oddělit od šablony. Pokud nejsou kvalitativní parametry pasty a šablony v souladu s velikostí potiskovaných plošek, hrozí, že se pasta při zvedání šablony od podkladu odtrhne.

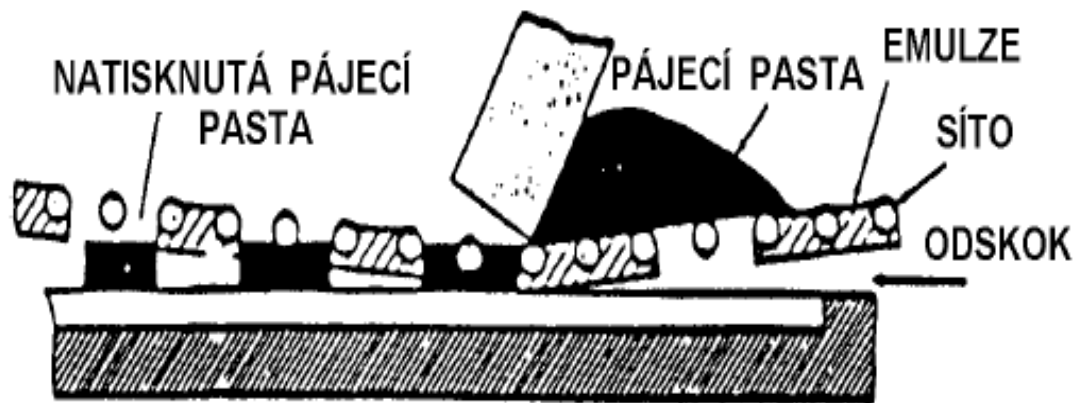
Ještě donedávna se DPS potiskovaly na jednodušších sítotiskových strojích pomocí nerezové, poměrně hrubé síťoviny (80#). Na těchto zařízeních se používala tradiční sestava předtěrky a těrky. V roli síta vystupují v poslední době stále častěji šablony, které se připravují z tenkých nerezových fólií laserem nebo leptáním. Fólie se používají v tloušťce 100, 120 nebo 150 mikronů

v závislosti na požadované tloušťce nánosu pájecí pasty. Požadované parametry tisku se odvíjejí od charakteru součástí, jimiž se má deska osadit.

Jestliže se má šablona připravit pomocí leptání, ovrství se fólie nejprve oboustranně fotocitlivým lakem, potom se na ni přes masku naexponuje požadovaná struktura a následně se chemicky leptá v kyselém nebo zásaditém prostředí. Při proleptání vznikne profil, který ovšem nemá přesně kolmé hrany, jelikož se projevuje vliv postupného leptání z obou stran fólie. Pro dosažení téměř kolmých stěn otvoru je proto nutné dobu leptání poněkud prodloužit, čímž vzniká podleptání pod okraje rezistu. Výhodou technologie leptání je cenová dostupnost, hlavní nevýhodou pak nutnost podleptávání.

Pro dosažení vyšší přesnosti a efektivity se přechází k laserem řazaným šablonám. Přestože se jedná o velmi přesné lasery, zanechávají na hraně řezné plochy miniaturní nepravidelnosti. Aby šablona dosáhla skutečně špičkové kvality, hrana řezu se ještě někdy elektrolyticky zalešťuje. Výhodou laserové přípravy šablon je dosažení přesného profilu otvorů na šabloně, nevýhodou je drsnost hran, nutnost leštění a s tím spojený růst nákladů. Přesnost šablony má zásadní vliv na kvalitu sítotisku při výrobě DPS. Při zdvihu šablony se od ní musí pájecí pasta perfektně oddělit.

Síto je síťka z vláken (nylon, PES, případně kov) opatřená fotocitlivým materiálem. Hustota ok je v rozmezí 24 až 78 ok na 1 cm délky. Podle zkušeností by mělo být oko síťky 2,5 až 4 krát větší, než jsou největší částice pájky. V praxi bývají běžné velikosti částic pájky 40 – 70 μm , proto se často používá velikost oka síťky 200 μm . Místa, na která má být nanесena pájecí pasta, jsou osvětlena UV světlem. Ozářený materiál je chemickým procesem odstraněn a neosvětlená vrstva je vytvrzena. V otvorech zůstávají pouze jednotlivá vlákna síťky. Síto je připevněno k pohyblivému rámu. Síťka je umístěna nad deskou plošného spoje ve výšce 0,8 – 1,0 mm a musí být v souladu s motivem na desce. Hranice tisku jemných motivů jsou 0,635 mm.



Obr. 11 Princip sítotisku pájecí pasty

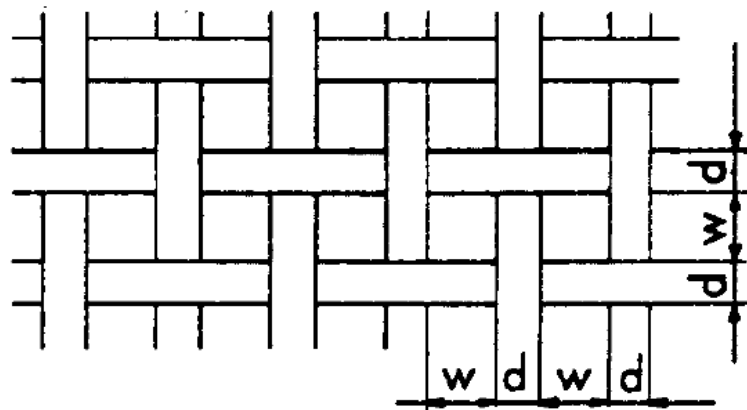
Na síťovinu je nanášena:

- Fotocitlivá emulze (metoda přímého ovrstvení)
- Fotocitlivá emulze s tuhým filmem (metoda přímého-nepřímého ovrstvení) – preferuje se jak z důvodu reprodukovatelnosti, tak i životnostní motivu na sítu
- Tuhý film (kapilární metoda)

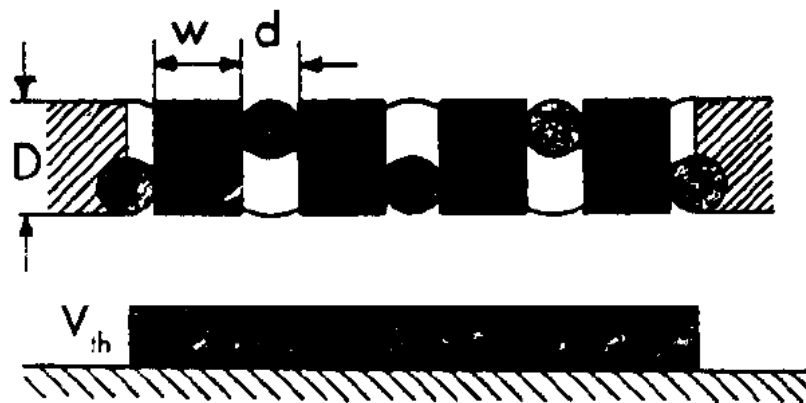
Při pohybu stěrky po sítu a protlačování pasty je síto prohýbáno. To znamená, že jakmile se stěrka vzdaluje od potištěného místa, síťka se nadzvedává (maximální výška je daná odskokem). Na desce plošných spojů zůstávají plošky potištěné protlačenou pájecí pastou. Tloušťka nanášené vrstvy pájecí pasty závisí na tloušťce sítky a emulze, částečně také na obsahu pájky v pastě a velikosti částic. Obvykle se pohybuje v rozmezí 100 až 300 μm .

Nejdůležitější parametry síťoviny jsou:

- světlost oka (w)
- průměr vlákna (d)
- otevřená plocha síťoviny (a_o)
- tloušťka síťoviny (D)
- hustota ok (mesh, n)
- teoretický objem pájecí pasty (v_{th})



Obr. 12 Světlost oka w a průměr vlákna d



Obr. 13 Teoretický objem natisknuté pasty

Hustota ok		Světlost oka	Průměr vlákna	Otev. plocha	Tl. síťoviny	Teor. objem pasty na cm na palec
N	mesh	w (μm)	d (μm)	a _o (%)	D (μm)	V _{th} (cm ³ /m ²)
14T	34T	500	220	48,2	410	197,5
24T	60T	275	145	42,8	265	113,5
32T	80T	200	100	44,5	170	75,5
40T	100T	167	80	45,7	130	59,5
51T	130T	120	70	38,7	116	45,0
62T	160T	92	64	32,2	112	38,0
73T	185T	84	48	39,0	80	31,0
81T	205T	72	48	34,0	82	28,0
95T	240T	50	48	22,7	87	19,5
120T	305T	44	34	27,9	57	16,0

Tab. 5 Parametry PES síťoviny

Přibližná tloušťka natisknutého materiálu(hw) je dána materiálem síťoviny (D), tloušťkou vrstvy fotocitlivé emulze (he) a technologií tisku dané opravným koeficientem (k)

$$hw = D + he \pm k$$

Hodnota *he* bývá obvykle v rozsahu 100 až 250 μm, technologicky zvládnuté jsou tloušťky až do oblasti 1 mm. Tloušťka síťoviny D je velmi přibližně rovna 2d (viz. obr.4.8.).

Koeficient k se často odhadem stanovuje na 50 μm

Např.:

Je-li požadovaná tloušťka mokré pasty 200 μm, používá se zpravidla síto s počtem 32ok/cm (např. POLYMON 32 SL) a tloušťkou emulze 125-150 μm. Použije se pájecí pasta se střední velikostí kuliček.

Pro bezproblémový tisk pasty platí zásada: velikost částic pájecí pasty by neměla být větší než 1/3 světlosti oka. Tj. pro pájecí pastu typu 2 s velikostí částic od 45 do 75 μm se použije síto s velikostí oka od 135 do 225 μm dle tabulky tedy síto s počty 30 - 48 ok/cm.

2.1.1 Možnosti nanášení pasty sítotiskem

- Ruční sítotisk

V rámu je upevněno síto nebo šablona. Potiskovaný předmět (DPS) je fixován naváděcími trny v tiskovém stolku. Vlastní sesouhlasení soutisku je prováděno zkušebními tisky s pomocí polyesterové fólie upevněné v tiskovém rámu. Tisk se provádí ručně pomocí stěrky (dvojice stěrek) volné nebo vedené. Parametry tisku závisí v plné míře na obsluze.

- Poloautomatický sítotisk

Na rozdíl od ručního sítotisku je poloautomatický sítotisk vybaven motorickým pohybem těrky. Parametry tisku (rychlost pohybu těrky, sklon, velikost přtlaku) lze reprodukovat udržovat v definovaných mezích. Některé systémy jsou vybaveny i kamerou pro přesné sesouhlasení DPS a šablony/síta, tím zajištění kvalitního soutisku.

- Automatický sítotisk

Interakce proměnných parametrů na rozhraních DPS – síto/šablona – těrka – pájecí pasta je automaticky vyhodnocována i korigována. Vliv lidského faktoru je zde minimalizován.

Zařízení je zpravidla konstruováno jako in line. DPS se pomocí dopravníku dostává do zařízení, kde je DPS fixována buď na naváděcí kolíky nebo hranově a pomocí kamery jsou snímány naváděcí značky na DPS. Poloha šablony je též kontrolována a po provedení korekcí je proveden nátisk. Po tisku je provedeno vyhodnocení z hlediska soutisku (2D) ev. I tloušťky vrstvy (3D inspekce). Zpětné korekce programu jsou provedeny automaticky. Vyhodnocené parametry jsou ukládány pro SPC (Statistic Process Control). Sítotisková zařízení mají zpravidla klimatizovaný pracovní prostor. Pro dosažení reprodukovatelného tisku jsou zařízení vybavena i čistícími papí-

rovými rolemi pro periodickou údržbu síta/šablony. Přesnost u standardních sítotisků bývá +/- 25 μm , opakovatelnost +/- 15 μm .

Pro fine pitch aplikace se používá optický naváděcí systém (Vision Alignment) na centrovací značky. Pro tisk přes šablonu se preferuje kontaktní tisk, pro tisk přes síto většinou bezkontaktní s cca 1,5 mm programovatelnou rychlostí odtrhu.

Výhody tisku přes síto:

- menší cena síta oproti šabloně
- možnost větší rychlosti tisku
- síto lépe kompenzuje nerovnosti povrchu
- síto umožňuje tisk větších ploch

Nevýhody tisku přes síto:

- horší soutisk, horší obrysová ostrost natisknuté vrstvy
- větší opotřebení i možnost poškození síta a tím menší životnost síta
- nemožnost tisku fine pitch motivů
- problematický tisk past s vyšší viskozitou



Obr. 14 Tiskárna využívající sítotisk

2.2 Šablonový tisk

Pro šablonový tisk se používají stejná technologická zařízení jako pro sítotisk. V rámu je místo síta upnuta kovová fólie s motivem pro požadovaný tisk materiálu. Tloušťka natisknuté pasty v mokřém stavu koresponduje s tloušťkou šablony.

U této metody se vrstva pasty na jedné straně desky plošných spojů nanáší při jediném průchodu stěrky. Stěrka tlačí pájecí pastu přes kovovou šablonu, která obsahuje obrazec, jenž má být vytištěn na desku plošných spojů. Stěrka protlačuje pájecí pastu skrz otvory v šabloně na desku plošných spojů. Kovová šablona je buď připevněna přímo k upevňovacímu rámu, nebo je zalepena do rámu se sítem. Protože vzhledem k použitým materiálům jsou kovové šablony podstatně méně elastické než síta, nedochází k průhybu, tzn., že šablona plně spočívá na desce plošných spojů. Materiálem bývá nerezová ocel, mosaz, niklová mosaz nebo měděný bronz. Tloušťka je 0,1 – 0,5 mm. Stěrka je zhotovena z tvrdé pryže, protože při použití měkkých materiálů by docházelo ke značnému otěru v ostrých rozích výřezů.

Proměnné faktory při šablonovém tisku dává do relace Navier – Stokesův vzorec, který udává velikost hydrodynamického tlaku generovaného pohybující se těrkou:

$$P_z = \frac{\mu s \sqrt{V}}{\sin \alpha} \quad \text{kde:}$$

P_z - hydrodynamický tlak

μ - viskozita pájecí pasty

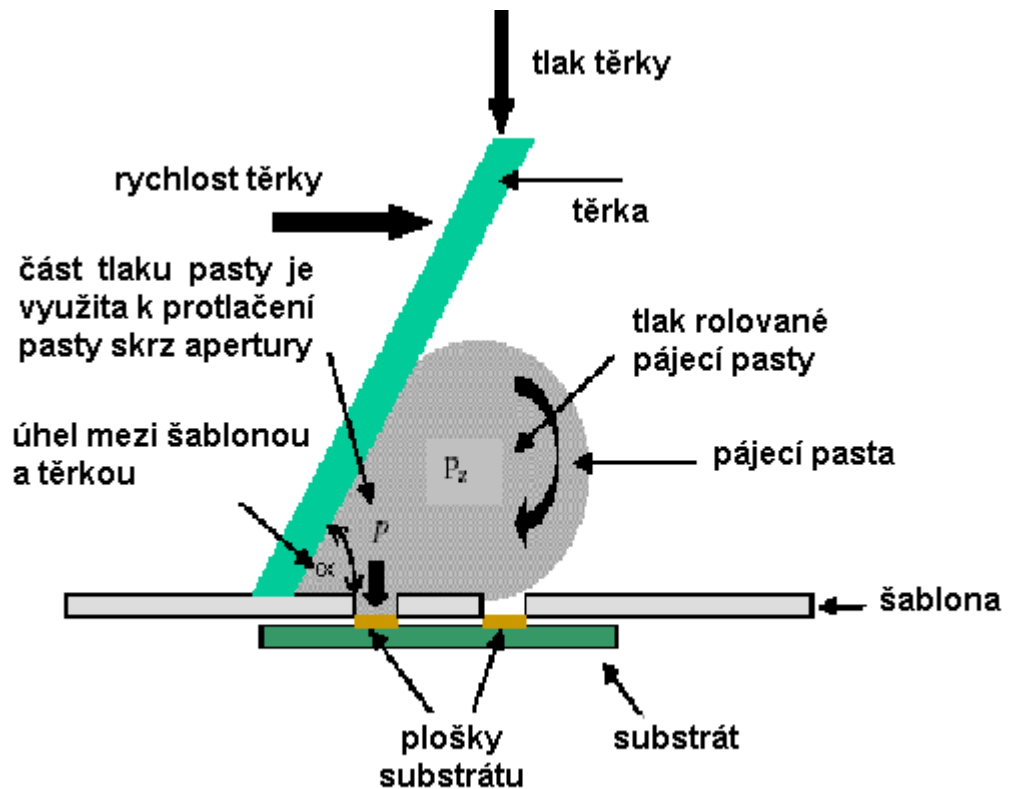
s - rychlost těrky

množství V - V - množství pájecí pasty

α - sklon těrky

hydrodynamický tlak pájecí pasty je tedy přímo úměrný rychlosti, viskozitě a množství

odrolovávané pasty a nepřímo úměrný sklonu těrky



Obr. 15 Princip šablonového tisku pájecí pasty

Dalším krokem při tisku je vyplnění apertur.

Následující vztah udává množství pasty, která projde na DPS idealizovanou aperturou ve tvaru válce beze tření a při konstantní viskozitě, přičemž nerespektujeme tixotropní vlastnosti pájecí pasty:

$$Q = \frac{P\pi D^4}{128\mu L} \text{ kde:}$$

Q – tok pájecí pasty, tj. množství pasty, které projde na aperturou za sekundu

L – tloušťka šablony

D – průměr apertury

Množství pasty, které zaplní aperturu je dáno tokem pasty a dobou zaplňování apertury. Při správně nastaveném technologickém procesu je dosaženo maximální zaplnění apertury pájecí

pastou. V dalším kroku dochází k uvolňování pájecí pasty z apertury a adhezi pasty k plošce. Síla, která vede k uvolňování pasty F_r je dána vztahem:

$$F_r = F_g + F_a - F_s - F_t \text{ kde:}$$

F_g - gravitační síla pájecí pasty

F_a - adhezní síla pájecí plošky

F_s - adhezní síla stěny apertury šablony

F_t - třecí síla

Síla, která vede k uvolňování pasty F_r musí být pozitivní. Jakékoliv znečištění šablony vede ke snižování F_r díky kohezním silám pájecí pasty.

Aby nedocházelo k prosakování pasty pod šablonu a pozdějším možným zkratům a kuličkám pájky, musí pájecí maska dokonale sedět na pájecí plošce. Pájecí pasta se tak nedostane pod úroveň pájecí plošky.

Jedním řešením je prodloužit plošku k provedení většího povrchové plochy a tudíž nanést větší objem pasty pro danou tloušťku šablony. To samozřejmě způsobí vzrůst plochy desky plošného spoje.

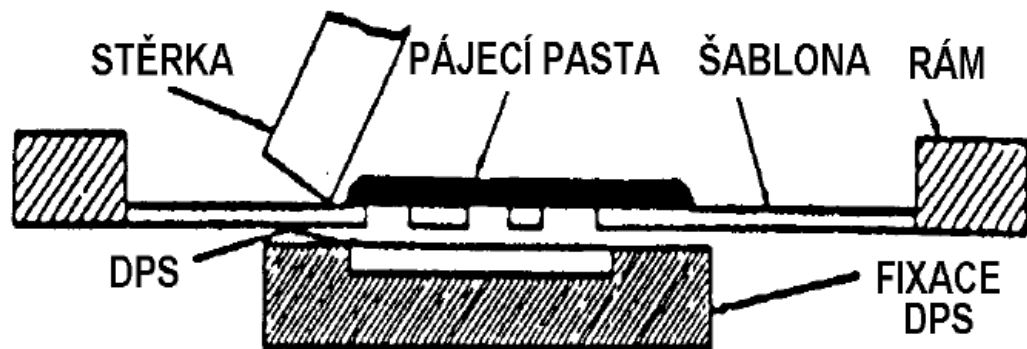
Druhým řešením je ponechat netištěnou plochu na stranách pájecí plošky k vytlačení pasty po uložení součástky.

Při tisku jemných roztečí vzniká nebezpečí zalepení šablony pastou (z důvodu povrchového napětí), protože povrchová plocha stěn otvoru šablony je větší než plocha pájecí plošky. Řešení tohoto problému spočívá ve správné kombinaci pasty, geometrie pájecí plošky a tvaru šablony.

Rozměry otvoru šablony pro jemné rozteče musí být takové, aby nejméně polovina pájecích kuliček přesně pasovala do otvoru šablony. Je nutné pečlivě vybírat pastu s přihlédnutím na případný obsah oxidů, protože pasta s menšími kuličkami má relativně větší povrch. Čím větší povrch, tím více vzniká oxidů. Rovněž se nesmí zapomínat, že pasta zasychá. Pokud přischne malé množství pasty k rohu otvoru šablony s malou roztečí během výroby, bude to mít značný vliv na nanášený objem pasty.

V porovnání s metodou sítotisku, kde je životnost několik tisíc potisků na jedno síto, je možno pomocí metody tisku šablonou provést několik desítek tisíc potisků za předpokladu, že se s šablonou zachází šetrně. Při výběru strojů pro tisk šablonou je nutno se nejprve zajímat o technologické požadavky vyráběných modulů. Z ekonomických důvodů je však nutno vzít v úvahu i výkon, rozsah automatizace a možnost integrace do výrobních linek SMT. Cílem ve velkosériové výrobě je spřažený provoz, a to i z důvodů, které se týkají technické realizace výroby. Z toho plyne, že je nanejvýš záhodno, aby každý krok v procesu byl hodnocen vcelku, tj. ve vzájemném vztahu těchto faktorů:

- Stroj na tisk šablonou
- Model šablony
- Typ pájecí pasty



Obr. 16 Princip šablonového tisku pájecí pasty

2.2.1 Šablony

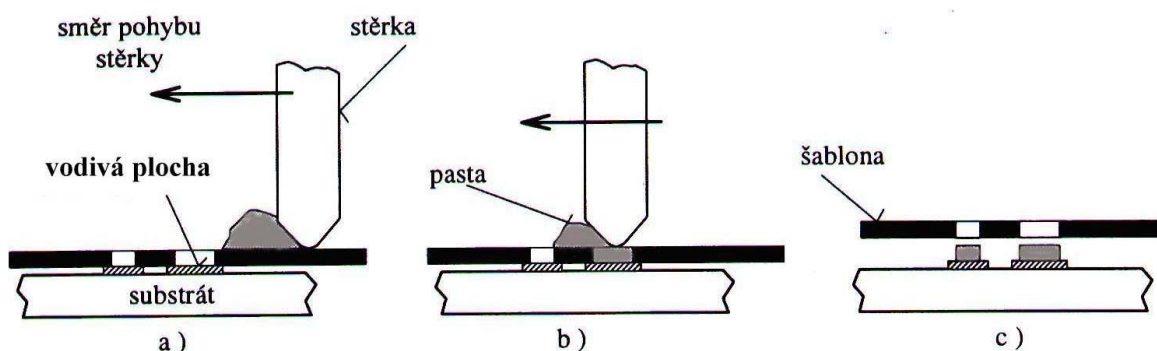
Pro spolehlivý proces tisku je nezbytná kvalitní šablona, kterou ovlivňuje 5 hlavních faktorů:

- druh a tloušťka materiálu
- druh předlohy
- velikost apertury
- technologie výroby

Náročné požadavky se kladou na šablony pro BGA, fina pitch a ultrafine pitch aplikace.

Všeobecně se požaduje minimální rozměr apertury jako 1,5 násobek tloušťky použitého materiálu. Pro šablony zhotovené laserem nebo leptáním se používají fólie a plechy v tloušťkách 0,075 – 0,5mm z nerez oceli, bronzu, niklové mosazi. Pro aditivní proces se používá galvanický nikl. Vrtané šablony se zhotovují z plastu.

Základní postup nanášení pájecí pasty tiskem přes kovovou šablonu:



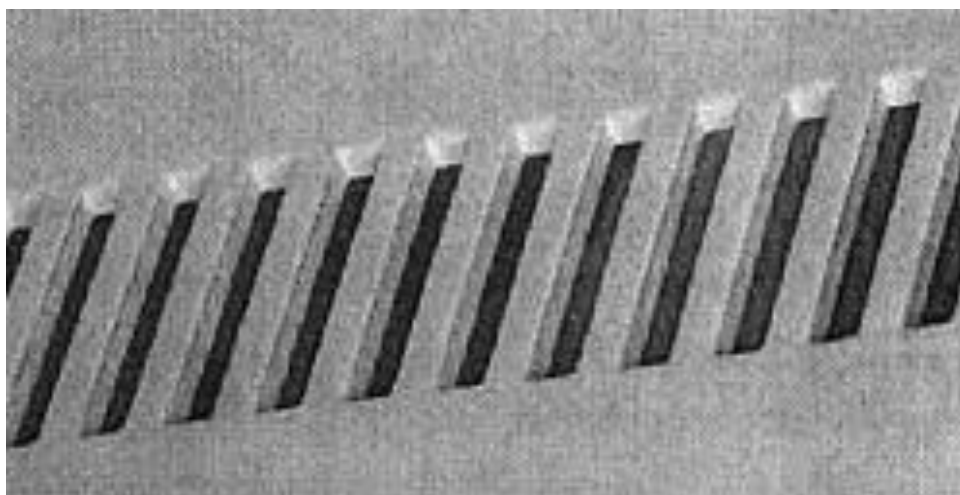
Obr. 17 stav před tiskem; b) tisk pohybem stěrky; c) konečný stav po tisku

Šablonový tisk je svou základní podstatou obdobou sítotisku. Rozdíl je v provedení šablony, jejíž motiv určený k tisku je vytvořen v pevném (tuhém) materiálu, kterým často bývá ocelová nebo bronzová planžeta. Šablona se přikládá přímo na substrát, takže hodnota odtrhu o je v době pohybu stěrky rovna nule. Vlastní odtrh šablony od substrátu je pak proveden mechanickým pohybem až po ukončení pohybu stěrky a tedy po nanesení pasty do volného prostoru (motivu) v šabloně. Z toho je zřejmé, že tištěné motivy musí být natolik uzavřené plochy aby nebyla narušena tuhost šablony.

Výroba šablon je jedním ze stěžejních kroků šablonového tisku, kde se používají především následující metody výroby:

- chemicky leptané
- elektrogalyvanicky nanášené
- polymerní
- řezané laserem

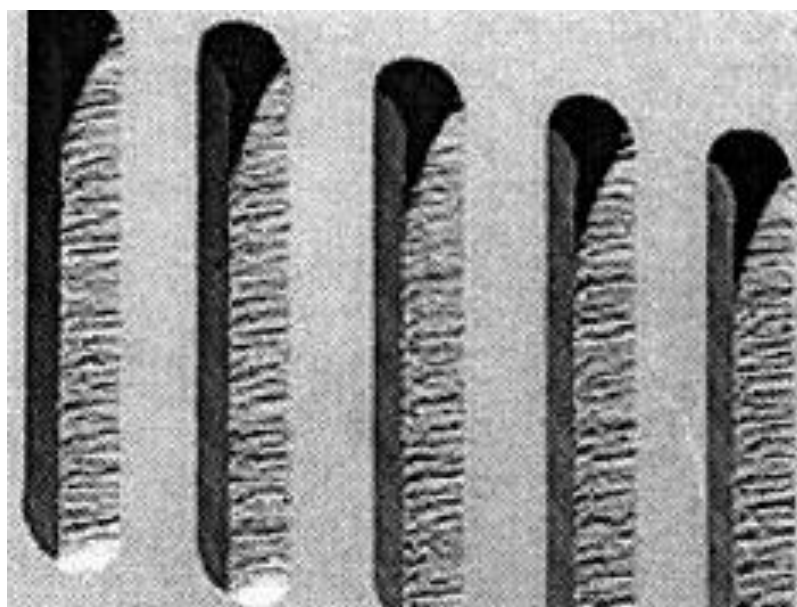
Elektrogalyvanicky vytvářené šablony jsou založeny na chemickém aditivním nanášení Ni vrstvy na pomocnou část tvořenou Cu vrstvou nesoucí fotorezistivní motiv. Ten je exponován UV světlem přes masku představující požadovaný motiv a na něj je nanášena elektrogalyvanicky vrstva Ni. Po dosažení požadované tloušťky je fotorezist odstraněn a Ni šablona oddělena od pomocné části. Tyto šablony jsou vhodné pro malé rozměry, neboť u nich lze docílit velmi malém tloušťky pouze desítky mikrometrů. To umožňuje vytvářet velmi jemné motivy. Jejich výhodou je velmi ostrý okraj otvoru na spodní straně dobře těsnící k substrátu, a velmi hladká stěna otvoru. Jejich výroba je náročnější a také nákladnější než je tomu u leptaných šablon, ale několikanásobně levnější než u šablon zhotovených laserem.



Obr. 18 Galvanicky vyrobená šablona

Polymerní šablony jsou vytvářeny na plastových fóliích a proto jsou velmi hladké, tudíž nevyžadují dodatečné úpravy. Pro vytváření motivů je využíváno expozice UV světlem a následné leptání, což umožňuje dosažení přesnosti až $\pm 10\mu\text{m}$. Problémy mohou nastat při čištění po tisku (bobtnání) a také se vznikem elektrostatického náboje.

Šablony řezané laserem jsou vyráběny známým principem opracování kovů úzkým laserovým paprskem kruhového tvaru. Tato metoda skýtá vytváření velmi přesných motivů o rozměrech menších než $100\mu\text{m}$, dosahovaná přesnost je $\pm 10\mu\text{m}$. Tento způsob vytváří mírně kónický profil otvoru, s ohledem na ostření svazku do ohniska na horní straně budoucí šablony (paprsek mří při řezání zespodu), což je určitou výhodou, neboť umožňuje lepší průchod pasty šablonou především u úzkých tvarů motivů. Vnitřní strany šablony někdy bývají ještě upravovány elektrickým leštěním (dosahuje se přesnosti až $\pm 2\mu\text{m}$). Cena je závislá na počtu otvorů, avšak ve srovnání s leptanými maskami je výrazně vyšší.



Obr. 19 Šablona vytvořená laserem

Tloušťka šablony t se volí podle rozměrů motivu, přičemž kritický je minimální rozměr. Platí obecné pravidlo, že nejmenší rozměr pravoúhlého motivu musí být více než $0,66$ tloušťky šablony, což lze vyjádřit vztahem:

$$X_{\min} : t = 1 : 1,5$$

Tento poměr vyjadřuje hledisko bezpečnosti pro přenos pasty šablonou, avšak může být ovlivněn dalšími faktory jako je velikost zrn pasty, drsnost substrátu atd.

Pro přesnější určení se používá vztah , jenž uvažuje plochu nanášeného motivu ($l \cdot w$) a je vyjádřením poměru plochy motivu ku ploše vnitřních stěn motivu na šabloně. Pro pravoúhlý tvar tedy platí:

$$AreaRatio = \frac{l \cdot w}{2 \cdot \overbrace{w} + 2 \cdot \overbrace{t}}$$

Pro kruhový otvor pak bude platit:

$$AreaRatio = \frac{\pi r^2}{2\pi r t} = \frac{r}{2t}$$

kde r je poloměr otvoru a t je opět tloušťka šablony.

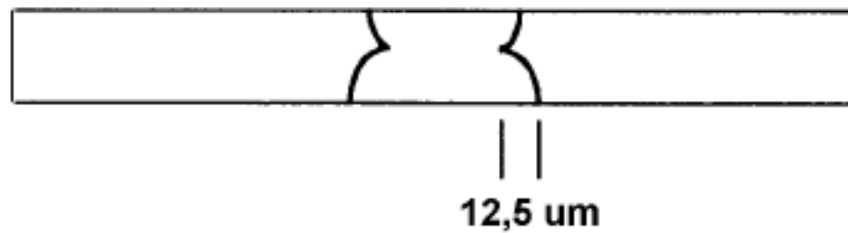
Nejpoužívanější technologie zhotovení šablon:

- Leptané šablony (tloušťky až 0,5 mm)

Z důvodu snadného leptání se používají zejména slitiny mědi. Pro tloušťky menší než 0,15 mm se preferuje niklová mosaz a nerez ocel. Důvodem je větší stabilita a odolnost v otěru. Podklady pro výrobu jsou ve formě CAD dat nebo filmových předloh. Po oboustranném nalaminování tuhého fotorezistu je provedena oboustranná expozice a po vyvolání následuje proces leptání. Pro různé materiály šablon se používají rozdílná leptadla. Z důvodu podleptání má proces větší tolerance apertur i horší tvary apertury. Z důvodu tloušťky leptaných šablon pro rozdílné minimální apertury jsou uvedeny v tabulce. Minimální rastr leptaných šablon je 0,3 mm.

Tloušťka šablony fólie [mm]	Nejmenší apertura [mm]	Tolerance [mm]
0,10	0,15	± 0,03
0,15	0,18	± 0,025
0,20	0,24	± 0,025

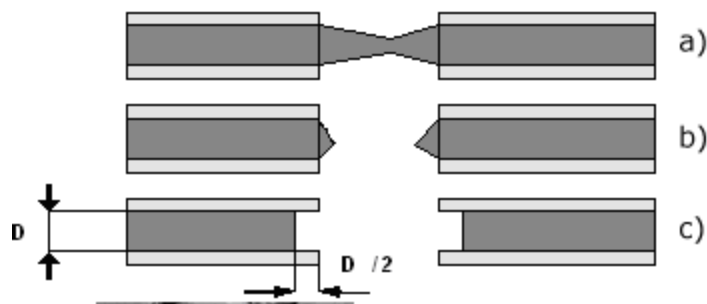
Tab. 6 Leptané šablony



Obr. 20 Tvar apertury u leptané šablony

Chemicky leptané šablony jsou vytvořeny s pomocí fotorezistů nanesených oboustranně přímo na ocelovou planžetu. Po osvětlení dochází k vytvrzení rezistu a následuje chemické leptání v FeCl lázni. Potom následuje elektrické leštění povrchu i hran, které nejsou ve svislém směru ideálně rovné. Dosahované výrobní tolerance jsou $\pm 25\mu\text{m}$. Minimální šířka otvoru šablony, kterou je možno při potřebné tloušťce vyleptat je přibližně 0,22 mm. Toto omezení je dáno především odolností leptacího rezistu (na rozdíl od výroby DPS, kde se leptá vrstva tloušťky 13 – 30 μm , je v tomto případě tloušťka výrazně větší a k tomu je třeba přičíst ještě čas potřebný k odleptání zbytku hrotu na styku ploch po proleptání plechu z obou stran).

Při návrhu šablony vyráběné leptáním je potřebné počítat s korekcí na podleptání, nutné pro zarovnání hran. Tato korekce je závislá na technologii leptání (statické – ponorem, dynamické – postříkem), přibližně lze počítat na zvětšení otvoru 7% z tloušťky šablony. Předností je časová nenáročnost výroby a nízká cena.

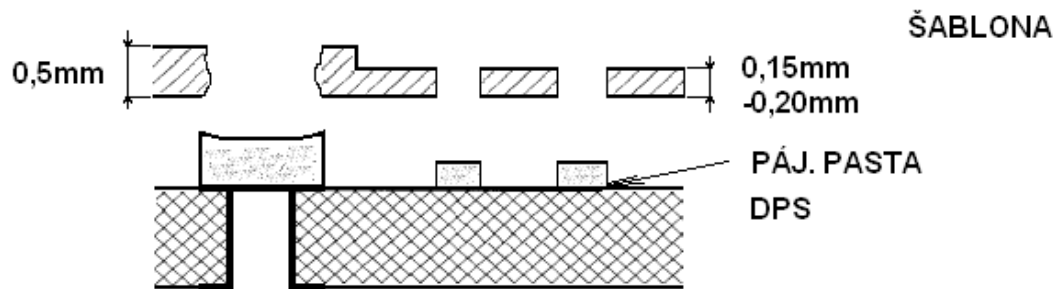


Obr. 21 Postup leptání šablony ve třech krocích - a) proleptání;

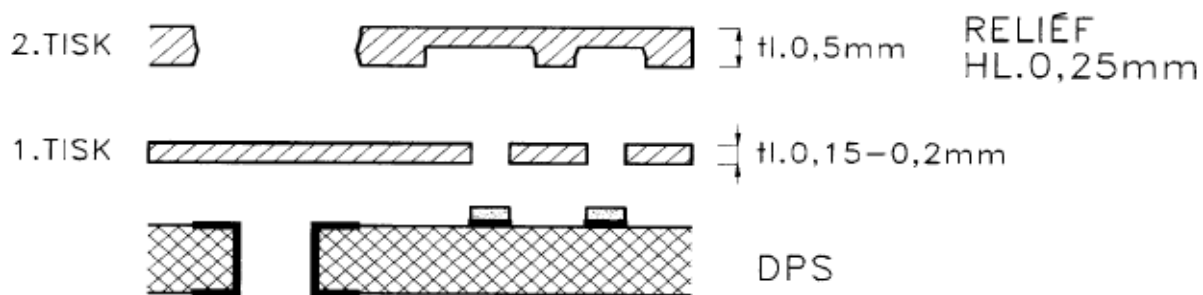
b) odstranění hrotu; c) podleptání

Selektivně leptané šablony se zhotovují technikou dvojnásobného fotolitografického i leptacího procesu. Jsou určeny pro některé speciální aplikace, které vyžadují rozdílné tloušťky natisknuté pájecí pasty. Např. tisk pájecí pasty pro vývodové součástky i SMD, SMD a ultra fine pitch (rastr 0,4 – 0,3 mm)aj.

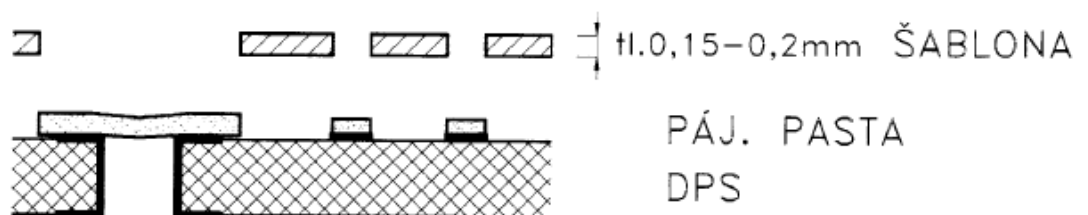
Postup tisku pájecí pasty pro vývodové součástky i SMD:



Obr. 22 Šablony se zhotovují selektivním leptáním. Tloušťka natisknuté pasty je dána zejména tloušťkou materiálu šablony



dvojnásobný tisk pájecí pasty. Množství natisknuté pasty pro vývodové součástky je dáno zejména tloušťkou šablony při druhém tisku. Nebezpečí rozmazání již natisknuté pasty během 2. tisku

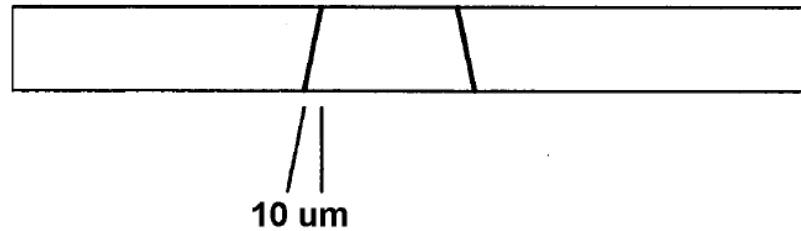


stejná tloušťka pro SMD tisk i pro vývodové součástky. Požadovaný objem pájecí pasty je dán aperturou

- Šablony zhotovované laserem

Šablony jsou zhotovovány přímo z CAD dat, není třeba zhotovovat filmové předohy ani laminovat fotorezist. Dosahuje se větší přesnosti šablon, které se vyrábí zpravidla z nerez oceli (vyjímeč-

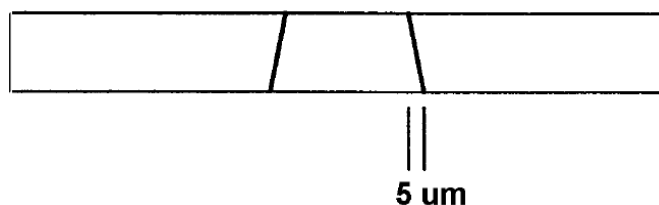
ně z plastu). Opakovatelná přesnost je $10\ \mu\text{m}$, rozlišení $1\ \mu\text{m}$. Minimální rastr je $0,25\ \text{mm}$. Hlavní nevýhodou je drsnější povrch stěn apertury.



Obr. 23 Tvar apertury zhotovené laserem

- Šablony zhotovované galvanicky

Šablony jsou zhotoveny galvanicky vyloučením niklu z niklovací lázně na nerezovou masku s již vytvořeným negativním motivem šablony (je zhotoven fotocestou). Jedná se o aditivní proces. Podkladem pro zhotovení mohou být jak filmové předlohy, tak i CAD data. Zhotovují se šablony tloušťky $10 - 200\ \mu\text{m}$. Minimální apertura = tloušťka šablony. Minimální rastr $0,2\ \text{mm}$. Hlavní nevýhodou je menší pevnost v tahu a vyšší cena.



Obr. 24 Tvar apertury zhotovené aditivně

- Šablony zhotovované vrtáním

Šablony jsou zhotovovány přímo z CAD dat. Dosahuje se větší přesnosti šablon, které se vyrábí zpravidla z bronzu, plastu, výjimečně z nerez oceli. Šablony vhodné pro nanášení lepidla se používají v tloušťkách $150 - 250\ \mu\text{m}$, pro nanášení pájecí pasty $150 - 200\ \mu\text{m}$. V tabulce je uvedený doporučený průměr vrtání pro rozdílná součástková pouzdra. Materiál použité kovové fólie má tloušťku $250\ \mu\text{m}$. Šablony nejsou příliš rozšířeny.

Přednosti šablon:

- vyšší životnost
- lepší soutisk
- tisk jemnějších motivů



Obr. 25 Tiskárna využívající tisk přes šablonu

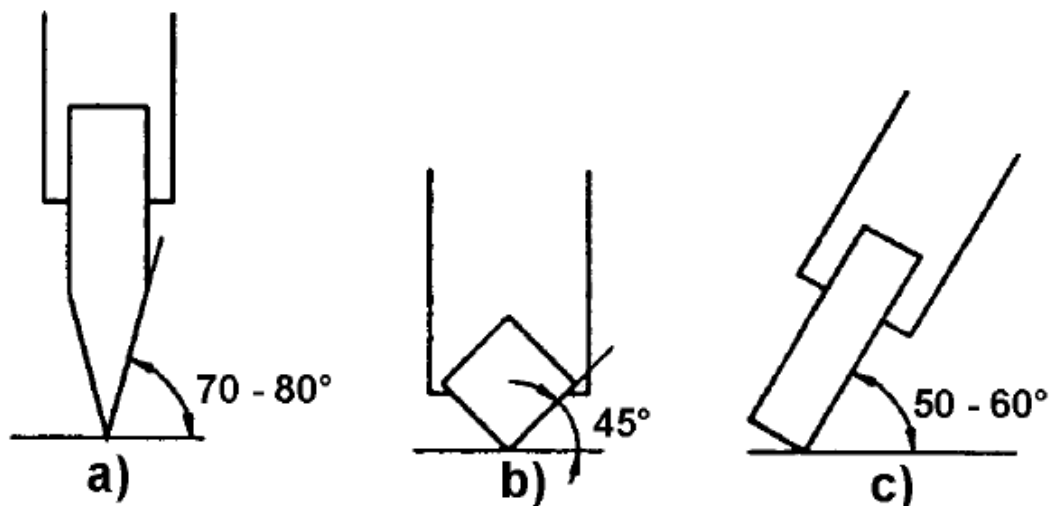
2.3 Stěrky

Součástí tiskového zařízení, jak pro tisk pomocí síta, tak i pomocí šablony, je stěrka. V praxi se používají různé tvary stěrek. Rovněž i vedení může být různé. Nejběžnější je ruční posun stěrkou, kdy se stěrka drží v ruce nebo ve vedení a tahem ruky se posunuje. Náročnější stroje mohou mít všechny pohyby zautomatizovány.

Používají se jak z nerezové oceli tak i z polyuretanu (PUR) v tvrdostech 70 – 90 Shore. Preferují se stěrky kovové, zejména z důvodu možnosti tisku menších rastrů i faktu, že při tisku nedochází k její deformaci.

Sklon stěrky je $45 - 60^\circ$. Při pohybu tiskové hlavy se musí pájecí pasta před těrkou dobře „odrolávat“. Obvykle se pro ruční tisk volí rychlost 5cm/s. Pokud se pasta neodrolován, je třeba rychlost zvýšit a naopak při rychlejším pohybu stěrky se pasta dostává poměrně rychle přes šablonu a je tekutější.

Typy stěrek:

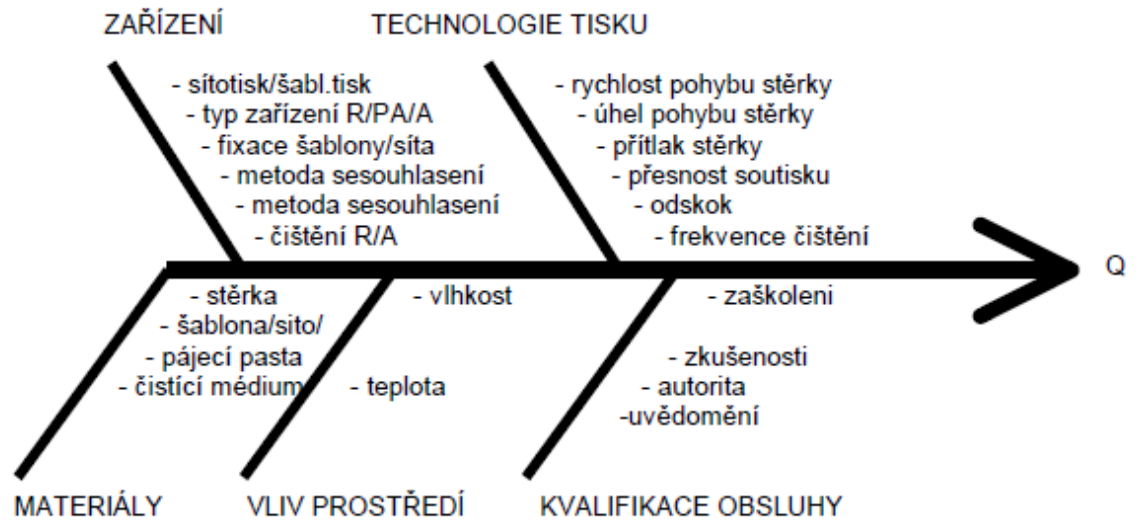


Obr. 26 a) diamantový tvar stěrky, b) čtyřhranná stěrka, c) plochá stěrka

2.4 Kvalita tisku

Je dána vzájemnou interakcí zejména následujících faktorů, které vstupují do procesu:

- typem použitého zařízení
- materiály
- technologií tisku
- vlivy prostředí
- kvalifikací personálu



Obr. 27 Kvalita tisku pájecí pasty (Ishikawa diagram)

Cílem je kvalitní nátisk materiálu jak z hlediska soutisku, tloušťky i rovnoměrnosti tloušťky potisknuté plochy. K získání požadovaných informací o výsledné kvalitě se používá post – print 2D nebo 3D inspekce. Získaná data jsou vyhodnocena a je provedena zpětná korekce procesu pro další tisk. Při překročení zadaných parametrů je třeba natisknutý materiál odstranit a tisk zopakovat.

Kvalita tisku není dána jen technikou tisku a typem zařízení, ale i typem pájecí pasty, zejména jejími reologickými vlastnostmi.

Nekritičtější faktory při tisku:

- tlak na těrku a rychlost pohybu těrky --> tloušťka pasty, ostrost tisku
- tvrdost těrky
- vzdálenost šablony od DPS --> ostrost tisku
- separační rychlost šablony od DPS – fine line problémy
- sesouhlasení šablony a DPS --> kuličky
- podepření DPS
- teplota

3 DEFEKTY PÁJECÍ PASTY

Při přetavování pájecí pasty je samozřejmě možné, že se mohou vyskytnout nějaké menší problémy, které vedou k tomu, že pájený spoj nebude kvalitní, jelikož vzniknou nějaké defekty pájecí pasty. Tomuto lze předcházet dobrým nastavením tiskárny a dobrým zacházením s pastou.

3.1 Solder Balling

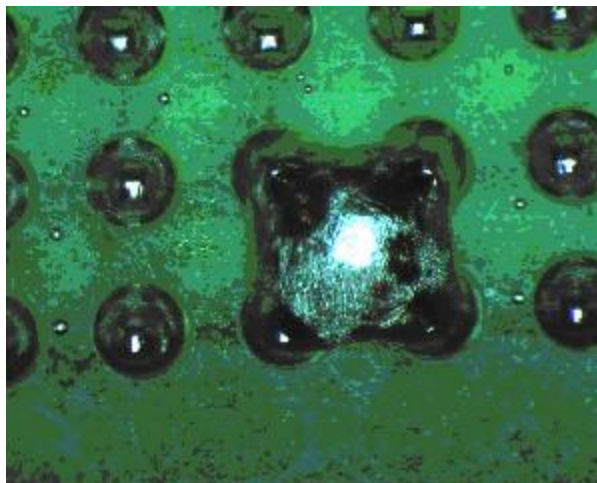
Částice pájky netají rovnoměrně, protože nebylo dobře odstraněno množství oxidů, které se vyskytují na povrchu kuliček v pájecí pastě. Oxidy se velkou mírou podílí na kvalitě pájeného spoje, protože mají velkou teplotu tavení.

Možné důvody vzniku defektu:

- Pájecí pasta není dostatečně aktivní
- Pájecí podložky nebo vývody součástek pájeného spoje nemají dobrou hájitelnost
- Povrch kuliček pájecí pasty je příliš zoxidovaný
- Nesprávné skladování pájecí pasty, vedoucí ke zhoršení jejich pájecích vlastností

Tomuto defektu lze zabránit tím, že se bude pasta uskláňovat ve správných podmínkách.

Důležitou součástí je také výběr pasty, protože větší náchylnost ke tvorbě oxidů mají částice pájky menšího průměru a to z důvodu toho, že mají větší plochy na stejný objem, než je tomu u částic s větším průměrem.



Obr. 28 Defekt solder balling

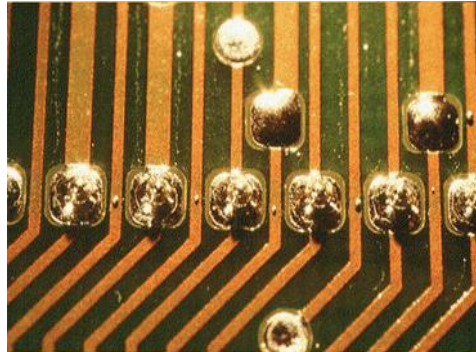
3.2 Solder Beads

Tento typ poruchy při pájení je jakýmsi poddruhem poruchy Solder balling a je s ním často zaměňován.

Možné důvody vzniku defektu:

- Špatný výběr šablony
- Nadměrné množství pasty
- Vysoký tlak působící při tisku
- Velká rychlost rampy
- Vysoký obsah oxidů
- Změna materiálu stěrky (pryž/kov)

Nejjednodušší řešení je nejspíš změnit otvory a tloušťku šablony, přičemž se doporučuje spíše tyto hodnoty snižovat.



Obr. 29 Porucha Solder beads



Obr. 30 Další porucha Solder Beads

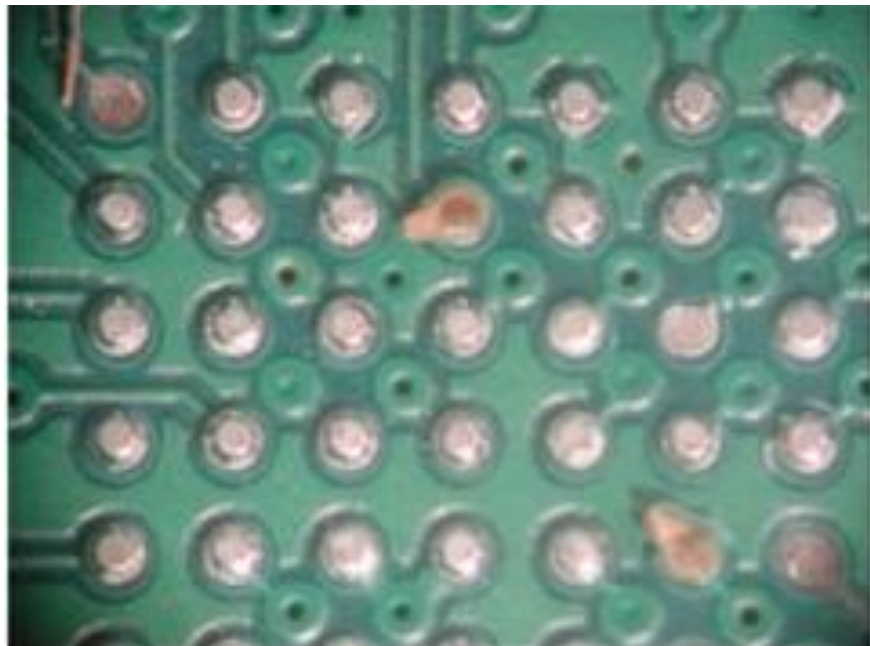
3.3 Solder Balls způsobené špatným tiskem

Pájecí pasta je tisknuta na povrch, který není dobře smlčitelný, což vede samozřejmě k nekvalitním a nedostatečně pevným spojům.

Možné důvody vzniku defektu:

- Špatné utěsnění mezi šablonou a DPS v průběhu tisku
- Nesoulad mezi šablonou a DPS
- Nadměrný tlak stěrky
- Znečištěná spodní strana šablony

Tomuto defektu lze velmi jednoduše předcházet a to tak, že při tisku stačí být trochu opatrnější a více se o obsluhu tiskárny starat.



Obr. 31 Porucha Solder balls způsobená špatným tiskem

3.4 Poor Wetting

Pájecí pasta se tiskne na povrch, ze kterého není úplně odstraněna vrstva oxidu.

Možné důvody vzniku defektu:

- Pájecí pasta není dostatečně aktivní
- Pájecí podložky, nebo vývody součástek nejsou dobře pájitelné, nebo jsou znečištěné
- Pájecí prášek je zoxidovaná, nebo je příliš jemný pro tuto aplikaci
- Přetavení pasty se nekoná správně, předehřev je příliš dlouhý, příliš vysoký nebo je příliš vysoká vrcholová teplota tavení



Obr. 32 Dobrý pájený spoj



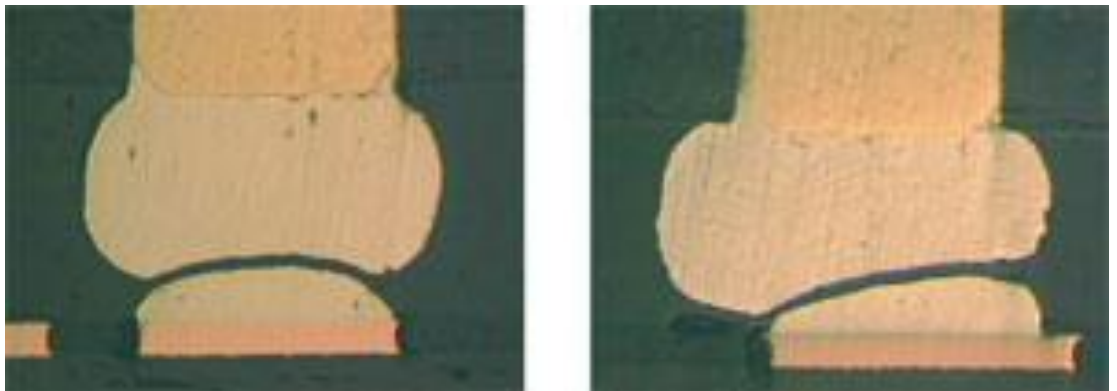
Obr. 33 Porucha Poor Wetting

3.5 Open Solder Joints

Pájecí pasta je přitavena pouze na jednu stranu pájeného spoje, tudíž žádný spoj nevzniká.

Možné důvody vzniku defektu:

- Špatná hájitelnost pájených součástí kvůli přítomnosti oxidu nebo znečištění povrchu
- Pájecí pasta není dostatečně aktivní
- Slabé předeřívání při přetavování neumožní všem povrchům přejít na požadovanou teplotu nutnou k přetavení pasty
- Množství pájecí pasty je nedostatečné



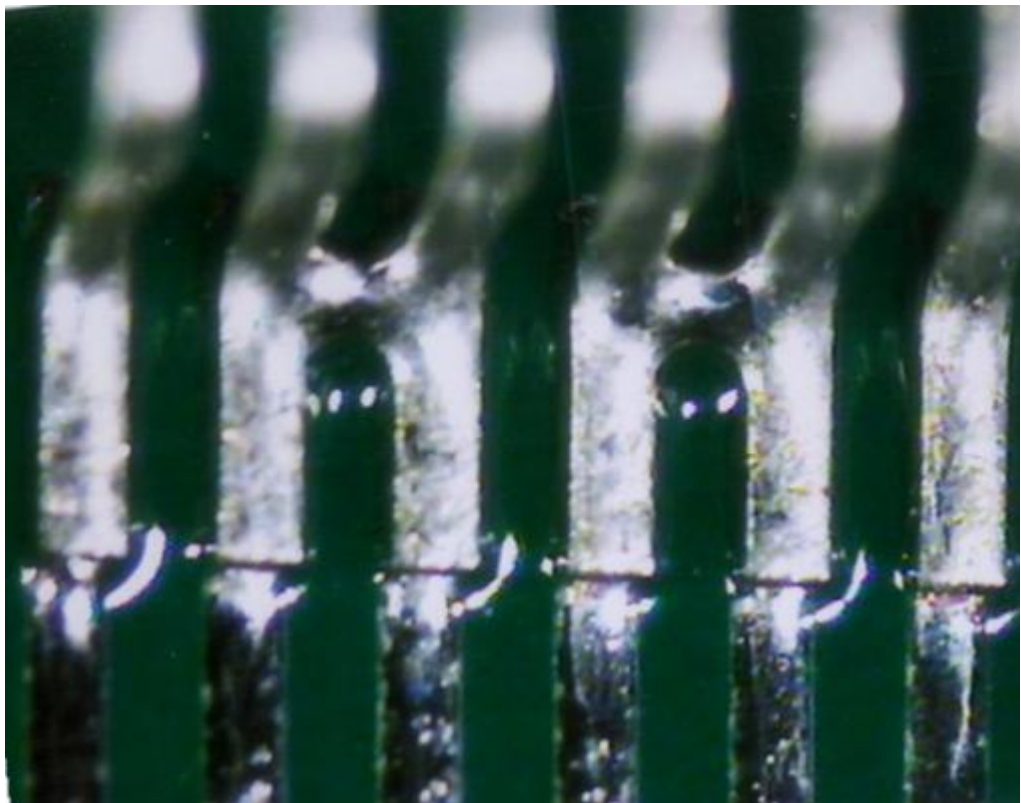
Obr. 34 Porucha Open Solder Joints

3.6 Short Circuits (pájkové můstky)

Pájecí pasta je natisknuta tak, že kromě ploch, na kterých má být, vytvoří

Možné důvody vzniku defektu:

- Počáteční teplota ohřevu je příliš strmá
- Pájecí plochy jsou příliš velké vzhledem k mezerám mezi nimi
- Příliš mnoho pájky na plochy způsobené špatnou specifikací šablony
- Špatné utěsnění mezi šablonou a DPS při tisku
- Šablona není dobře umístěna na DPS

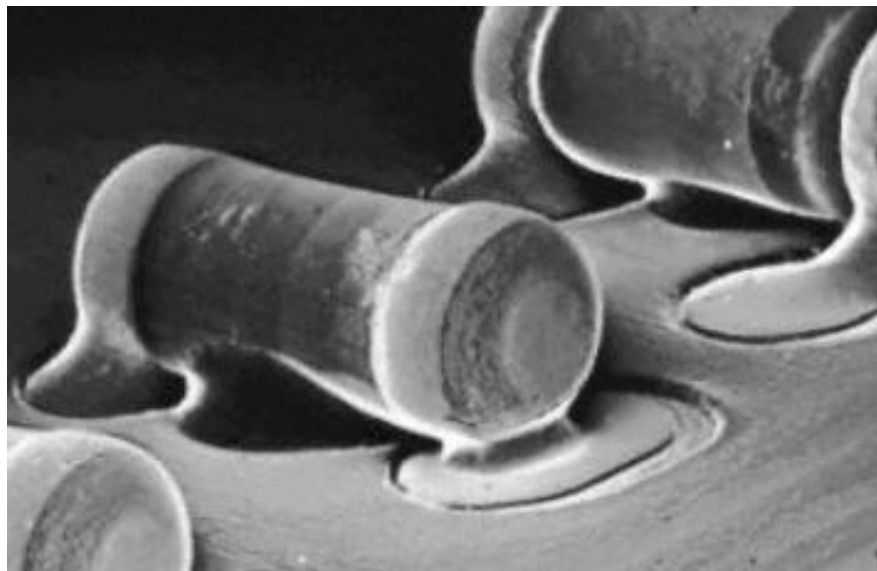


Obr. 35 Defekt Short Circuits

3.7 Nedostatečné množství pájky na spoj

Možné důvody vzniku defektu:

- Počáteční teplota ohřevu je příliš strmá
- Šablona nemá dostatečnou tloušťku
- Nesprávný poměr rychlosti tisku a velikosti tlaku
- Všechny hájitelné spoje nemají potřebnou teplotu k přetavení
- Pájecí pasta není dostatečně aktivní
- Pájecí pasta má příliš nízké procento kovu



Obr. 36 Nedostatečné množství pájky

3.8 Tombstoning efekt

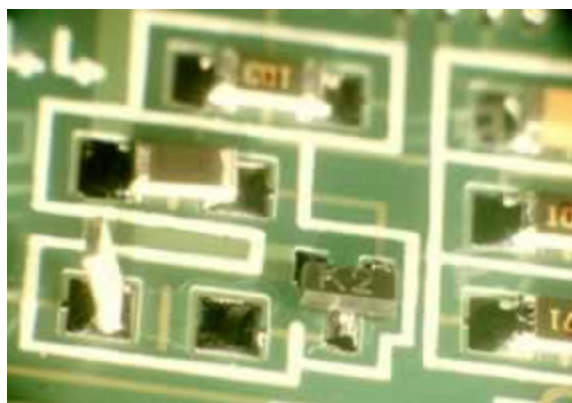
Tento efekt má řadu jmen, mezi které patří Manhattan efekt, drawbridging a Stonehenge efekt. Každé z těchto jmen popisuje čipové rezistory nebo kondenzátory, které jsou připájeny pouze u jedné strany.

Možné důvody vzniku defektu:

- Komponenta nebyla správně umístěna
- Počáteční teplota ohřevu je příliš strmá
- Nerovnoměrné nanášení pájecí pasty
- Pájecí pasta, která není dostatečně aktivní
- Příliš mnoho pasty



Obr. 37 Tombstoning efekt zvaný drawbridging



Obr. 38 Tradiční Tombstoning efekt

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámit čtenáře s problematikou technologie tisku pájecí pasty. Bohužel českých zdrojů je stále ještě málo a tak cílem práce bylo shromáždit tyto podklady a vytvořit příručku, která podává přehled nejdůležitějších informací.

V teoretické části práce se zabývá základy nejdůležitějšího prvku této problematiky a tou je pájecí pasta. Práce nás seznamuje s typy pasty, které se používají, k čemu slouží základní složky pasty, požadavky, které pasta má splňovat během tisku, ale i mimo něj, vlastností, skladování pasty, zpracovávání a funkce nanášení společně se základními druhy dávkováním.

Praktická část měla za cíl popsat aplikační technologii nanášení pasty nejznámějšími a nejrozšířenějšími metodami, kterými jsou nanášení pájecí pasty pomocí sítotisku kde je popsána tato technologie společně s možnostmi tisku, které nám umožňuje. Dále je zde popsána podrobná technologie šablonového tisku s různými druhy šablon a také popis stěrek, které jsou důležitou součástí obou zmiňovaných způsobů tisku. Zároveň jsou zde vypsána kritéria, na kterých je závislá výsledná kvalita pájeného spoje. A nakonec jsou vypsány nejznámější poruchy procesu tisku s jejich možnými příčinami, řešením a názornými ukázkami těchto problémů.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this thesis was to acquaint the reader with problems of printing technology for solder paste. Unfortunately, Czech sources is still low and the goal was to gather these documents and create a manual that outlines the most important information.

The theoretical part deals with most important element to this issue and that is the solder paste. The work introduces the types of paste, which are using, what is a basic component pastes, terms that meet the paste during printing, but also outside it, properties, paste storage, processing and application functions, together with the basic types of dosage.

The practical part was to describe the application technology of applying the paste to the most famous and most widely used methods, which are using the solder paste screen where this technology is described along with printing capabilities, which allows us to. There is also a detailed description of the stencil printing technology with different types of stencils and a description of the squeegee, which are an important part of both the above mentioned printing methods. At the same time, there are listed the criteria, it depends on the quality of the resulting solder joints. And finally there are listed the most famous printing process failures with their possible causes, solutions and illustrative examples of these problems.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Abel,M.: SMT – Technologie povrchové montáže, Nakladatelství Platan, 2000
- [2] Lea,C.: A Scientific Guide To Surface Mount Technology, Electrochemical Publications, 1998
- [3] Mach,P.,Skočil,V.,Urbánek,J.: Montáž v elektronice, Vydavatelství ČVUT, Praha 2001
- [4] Starý,J.,Kahle,P.: Plošné spoje a povrchová montáž, Vydavatelství VUT v Brně, 2005
- [5] Noble,A.: Printing Paste Without Stencils, Electronic Production, October 2000
- [6] www.en.wikipedia.org
- [7] www.hand-tools.hardwarestore.com
- [8] www.en.wikipedia.org
- [9] www.smtinfo.net
- [10] www.siliconfareast.com
- [11] www.alpha.cooksonelectronics.com
- [12] www.solderpasteonline.com
- [13] www.fusion-inc.com
- [14] www.svetbaleni.cz
- [15] www.koki.org
- [16] www.loctite.fast.de
- [17] www.mpelektronik.cz
- [18] www.smtcentrum.cz
- [19] www.ok1cjb.cz
- [20] www.svettisku.cz
- [21] www.kester.com

[22] www.mikroelektronika.cz

[23] www.mydata.com

[24] www.shanelo.co.za

[25] www.pcbexpress.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TCE	Teplotní koeficient délkové roztažnosti.
RO	Tavidla prstovité formy na bázi přírodní pryskyřice.
RE	Tavidla prstovité formy na bázi syntetické pryskyřice.
OR	Tavidla prstovité formy na bázi organických kyselin.
SIR	Povrchový izolační odpor.
DPS	Desky plošných spojů.
SMD	Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů.
PES	Polyester.
SPC	Statická kontrola procesu.
BGA	Typ pouzdra integrovaného obvodu pro povrchovou montáž.
UV	Ultrafialové záření.
CAD	Počítačem podpořený návrh.
PUR	Polyuretan.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení pasty podle typu použitého tavidla.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2 Vztah mezi pájitelností a spolehlivostí.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3 Závislost viskozity na teplotě.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4 Nanášení pájecí pasty dispečerem.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 5 Nanášení pájecí pasty sítotiskem.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 6 Nanášení pájecí pasty tiskem přes šablonu.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 7 Dávkování pájecí pasty.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 8 Dva druhy strojního dávkování.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 9 Pájecí pasta v kelímku se štítkem.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 10 Skladování pasty na lince.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 11 Princip sítotisku pájecí pasty.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 12 Světlost oka w a průměr vlákna d.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 13 Teoretický objem natisknuté pasty.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 14 Tiskárna využívající sítotisk.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 15 Princip šablonového tisku pájecí pasty.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 16 Princip šablonového tisku pájecí pasty.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 17 Stav před tiskem; b) tisk pohybem stěrky; c) konečný stav po tisku.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 18 Galvanicky vyrobená šablona.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 19 Šablona vytvořená laserem.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 20 Tvar apertury u leptané šablony.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 21 Postup leptání šablony ve třech krocích.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 22 Šablony se zhotovují selektivním leptáním.</i>	
<i>Tloušťka natisknuté pasty je dána zejména tloušťkou materiálu šablony.....</i>	<i>44</i>

<i>Obr. 23 Tvar apertury zhotovené laserem</i>	45
<i>Obr. 24 Tvar apertury zhotovené aditivně</i>	45
<i>Obr. 25 Tiskárna využívající tisk přes šablonu</i>	46
<i>Obr. 26 a) diamantový tvar stěrky, b) čtyřhranná stěrka, c) plochá stěrka</i>	47
<i>Obr. 27 Kvalita tisku pájecí pasty (Ishikawa diagram)</i>	48
<i>Obr. 28 Defekt solder balling</i>	49
<i>Obr. 29 Porucha Solder beat</i>	50
<i>Obr. 30 Další porucha Solder Beads</i>	50
<i>Obr. 31 Porucha Solder balls způsobená špatným tiskem</i>	51
<i>Obr. 32 Dobrý pájený spoj</i>	52
<i>Obr. 33 Porucha Poor Wetting</i>	52
<i>Obr. 34 Porucha Open Solder Joints</i>	53
<i>Obr. 35 Defekt Short Circuits</i>	54
<i>Obr. 36 Nedostatečné množství pájky</i>	55
<i>Obr. 37 Tombstoning efekt zvaný drawbridging</i>	56
<i>Obr. 38 Tradiční Tombstoning efekt</i>	56

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Etapy výroby pájeného spoje.....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 2 Tabulka jmenovité velikosti 80%částic.....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 3 Tabulka jmenovité velikosti 90%částic.....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 4 Základní typy pájecích slitin.....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 5 Parametry PES síťoviny.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 6 Leptané šablony.....</i>	<i>42</i>