

Technologie pájení přetavením

Reflow Soldering Technology

Denisa Filáková

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Denisa FILÁKOVÁ**
Osobní číslo: **A07028**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Technologie pájení přetavením**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu a informační nabídku internetových portálů v oboru technologie pájení přetavením.
2. Zpracujte získané materiály ve formě elektronické příručky poskytující údaje o problematice pájení přetavením s důrazem na specifika tohoto procesu ve srovnání s technologií pájení vlnou. Věnujte se významu teplotního profilu a způsobům jeho měření. Diskutujte typické poruchy tohoto procesu a jejich příčiny, pokud jsou uváděny.
3. Uveďte příklady konstrukce a funkci základních modulů pájecí pece.
4. V práci zdůrazněte odlišnosti při pájení olovnatými a bezolovnatými pájkami s materiálovými i kompozičními příklady pro obě skupiny pájecích past.
5. Pojednání o problematice technologie pájení přetavením 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. Wassing,R.J.K.: Soldering In Electronics, Electrochemical Publications, 1984
4. Mach,P.,Skočil,V.,Urbánek,J.: Montáž v elektronice, Vydavatelství ČVUT, Praha 2001
5. Starý,J.,Kahle,P.: Plošné spoje a povrchová montáž, Vydavatelství VUT v Brně, 2005
6. Internetové zdroje: www.nist.gov a další dle témat

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Neumann, Ph.D.
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

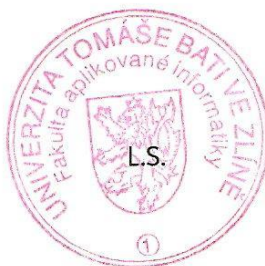
5. března 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

1. června 2010

Ve Zlíně dne 5. března 2010

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou technologie pájení přetavením. V teoretické části se snaží seznámit s obecným principem pájení, významem použití tavidel, pájitelností povrchu, dále potom samotnou metodikou pájení přetavením, teplotním profilem a přechodem na pájení bezolovnaté. V praktické části poskytuje názorné ukázky pájecích pecí, včetně principu funkce pro jednotlivá zařízení a na závěr demonstruje nejčastější poruchy procesu pájení zapříčiněné nesprávným procesem pájení, technologickou přípravou výroby a dalšími faktory.

Klíčová slova:

Pájení přetavením, tavidlo, pájitelnost, pájecí pasty, teplotní profil, olovnaté a bezolovnaté pájení, pájecí pece, poruchy pájení

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the reflow soldering technology. In the theoretic part is trying to makes readers acquainted with the general principle of soldering, the importance of the use of fluxes, solderability surfaces, then methodology soldering reflow, the thermal profile and the transition to lead-free soldering. The practical part provides a demonstration of soldering oven, including the principle functions for each device and finally demonstrates the most common disorders caused by improper soldering process, technological production preparation and other factors.

Keywords:

Reflow soldering, flux, solderability, solder paste, thermal profile, lead and lead-free soldering, reflow oven, soldering defects

Děkuji Ing. Petru Neumannovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, za poskytování odborných rad, za technickou podporu v podobě užitečných materiálů a v neposlední řadě také za jeho ochotu a vstřícnost.

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 užít 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 1. června 2010

.....
podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 PÁJENÍ..... | 11 |
| 1.1 VÝZNAM PÁJENÍ..... | 11 |
| 1.1.1 Tavidla..... | 12 |
| 1.1.2 Pájitelnost | 14 |
| 1.2 VÝHODY PÁJENÍ..... | 15 |
| 1.3 NEVÝHODY PÁJENÍ..... | 16 |
| 1.4 RUČNÍ PÁJENÍ..... | 16 |
| 1.5 STROJNÍ PÁJENÍ | 18 |
| 2 PÁJENÍ PŘETAVENÍM..... | 19 |
| 2.1 DRUHY PŘENOSU TEPLA | 19 |
| 2.1.1 Vedení (kondukce)..... | 19 |
| 2.1.2 Proudění (konvekce) | 20 |
| 2.1.3 Záření (radiace)..... | 21 |
| 2.2 METODY PÁJENÍ PŘETAVENÍM..... | 21 |
| 2.2.1 Konvekční pájení..... | 22 |
| 2.2.2 Pájení infračerveným zářením | 23 |
| 2.2.3 Kondenzační pájení | 24 |
| 2.2.4 Pájení laserem | 27 |
| 2.2.5 Pájení vyhřívaným nástrojem | 29 |
| 2.3 POSTUP POVRCHOVÉ MONTÁŽE..... | 30 |
| 2.3.1 Nanesení pájecí pasty | 30 |
| 2.3.2 Osazení součástek | 31 |
| 2.3.3 Přetavené pájecí pasty | 33 |
| 2.3.4 Odstranění můstků | 34 |
| 2.3.5 Čištění | 34 |
| 2.4 TRENDY V REFLOW PÁJENÍ | 35 |
| 2.5 SROVNÁNÍ METODY S PÁJENÍ VLNOU..... | 36 |
| 2.6 PÁJECÍ PASTY | 36 |
| 3 TEPLOTNÍ PROFIL..... | 39 |
| 3.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY | 39 |
| 3.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ..... | 43 |
| 4 OLOVNATÉ A BEZOLOVNATÉ PÁJKY..... | 45 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.1 | PROBLÉMY S POUŽITÍ BEZOLOVNATÝCH PÁJEK..... | 45 |
| 4.2 | SLITINY – MOŽNÉ NÁHRADY OLOVA..... | 46 |
| 4.3 | PÁJENÍ V OCHRANNÉ ATMOSFÉŘE | 48 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST..... | 50 |
| 5 | PÁJECÍ PECE..... | 51 |
| 5.1 | KONVEKČNÍ PECE..... | 53 |
| 5.2 | INFRAČERVENÉ PECE..... | 55 |
| 5.3 | IN-LINE PECE..... | 55 |
| 5.4 | OVLÁDÁNÍ A REGULACE | 56 |
| 5.5 | TRANSPORT A UCHYCENÍ DPS | 57 |
| 5.6 | PECE PRO PŘETAVENÍ BEZOLOVNATÝCH PÁJEK..... | 57 |
| 6 | PORUCHY PROCESU | 59 |
| | ZÁVĚR | 71 |
| | ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ..... | 71 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 73 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 75 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 76 |
| | SEZNAM TABULEK | 79 |

ÚVOD

Pájení je nejrozšířenější a nejspolehlivější metodou spojování součástek používanou v elektronice.

Je také známa skutečnost, že spolehlivost pájených spojů má významný vliv na jakost finálního výrobku. U ručně prováděných pájených spojů se dosahuje spolehlivosti přibližně $5 \cdot 10^{-9}$, a teprve po zavedení tzv. strojního pájení, u něhož se s postupem času vžil název pájení vlnou, se spolehlivost o několik řádů zlepšila. Dalším přínosem bylo zavedení pájení přetavením.

Jde o takový způsob pájení, při kterém se před vlastním procesem na povrch pájených předmětů nanese potřebné množství pájky. Po přiložení pájených míst k sobě se tato pájka roztaví a vznikne pájený spoj. Operace dodání pájky a ohřev spoje jsou od sebe prostorově i časově oddělené. Ohřev se děje tepelným zářením, odporovým teplem, horkým plynem, předáním kondenzačního tepla aj.

K uchycení součástek pro povrchovou montáž na desky se využívá lepivého účinku pastovité pájky. Na připojovací plošky je pájka nanášena sítotiskem, tiskem přes šablonu, dávkovačem (dispenzerem) nebo jehlou.

Důležitým faktorem je teplotní profil představující průběh teploty na čase po dobu pájení.

Produktivita mechanizovaného postupu bude závislá na tom, jak se podaří zkrátit jednotlivé časové úseky pájení a tím celkový čas pájení.

Přesto, že pájení prochází neustálým technologickým pokrokem, je i dnes většina poruch vyskytujících se v elektronických zařízeních způsobena vadnými spoji.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PÁJENÍ

Tato technologie patří k nejstarším způsobům spojování za tepla. I když tuto metodu používali již staří Egyptané dávno před n. l. a na našem území slavní šperkaři Velkomoravské říše v druhé polovině devátého století, datuje se rozsáhlé rozšíření a použití této metody zejména v průmyslové výrobě až od roku 1930. Původně převládal názor, že pájení vyžaduje jen manuální zručnost dílenského pracovníka. Avšak neúspěchy, které se vyskytly při zavádění pájení do výroby v důsledku nedodržení optimálních konstrukčních a technologických podmínek, způsobily jeho pomalé průmyslové uplatnění i v případech, kdy pájení bylo ze všech způsobů nejekonomičtější. Proto se teprve až v posledních letech systematicky zpracovávají všechny poznatky o pájení po vědecké stránce, což umožňuje jeho spolehlivé použití ve všech oblastech průmyslové výroby.

1.1 Význam pájení

Pájení je definováno jako způsob metalurgického spojování dvou kovů třetím roztaveným kovem – pájkou (Obr. 1). Povrchové atomy základního materiálu se dostanou do styku s atomy roztavené pájky v takové vzdálenosti, že se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil (adheze = přilnavost, koheze = soudržnost). Ve většině případů nastává i difuze a rozpouštění stykové plochy základního materiálu v roztavené pájce. Teplota tání pájky je vždy nižší než teplota základního kovu. Pevnost pájeného spoje je dána pevností mezivrstvy *pájený kov – pájka – pájený kov*. Platí, že: *čím tenčí je mezivrstva, tím větší je pevnost a naopak*. Pájka musí mít dobrou smáčivost¹, vzlínavost², vyhovující mechanické vlastnosti a malý rozdíl

¹Smáčivost definujeme jako schopnost tekuté pájky (tavidla) přilnout k čistému povrchu spojovaného materiálu při určité teplotě.

²Využívá se k zatékání pájky do spoje. Na tento fakt je třeba dbát při konstrukci spoje, aby velikost mezer ve spoji odpovídal užitému způsobu pájení. Zvětšení průřezu mezery má vždy za následek prodloužení celkové doby pájení a tím i větší tepelné namáhání součástí a desek.

elektrického potenciálu vůči základnímu materiálu. Podle teploty tání se pájky dělí na měkké - do 500°C³ a tvrdé - 500°C až 1000°C.



Obr. 1. Kovy, které je možno pájet⁴

Měkké pájky jsou cínové a zvláštní. Dodávají se ve tvaru litých tyček, trubiček s náplní tavidla, zrn apod. Zvláštní pájka Sn 70-Zn je určena k měkkému pájení hliníku. Měkké pájky se používají na spoje malé pevnosti v tahu (20 až 80 MPa) a ve střihu (do 40 MPa).

Tvrdé pájky jsou na bázi slitin, mědi, hliníku (typ Al-Si) a stříbra. Dodávají se ve formě housek, drátů apod. Používají se na spoje větší pevnosti (až 500 MPa). Stříbrné pájky vytvářejí houževnatější spoje než pájky mosazné.

Pájené plochy musí být dokonale čisté a odmaštěné. Aby se zabránilo oxidaci, a aby se zvětšila smáčivost a vzlínavost, používáme tavidla.

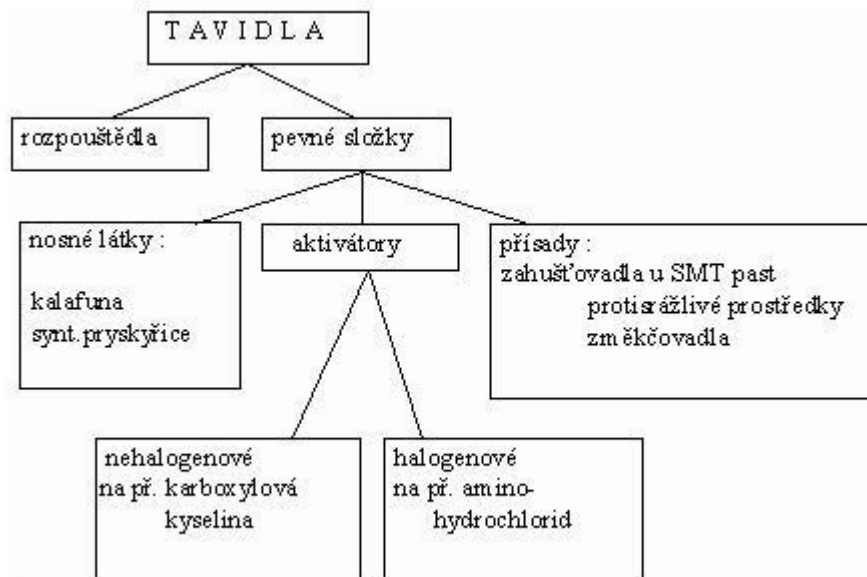
1.1.1 Tavidla

Tavidla jsou kapalné nebo tuhé chemické látky (Obr. 2), které odstraňují z pájených ploch

³Některé prameny uvádějí dělicí hranici 450°C – např. www.abetec.cz, www.martin.feld.cvut.cz atd.

⁴Pomocí speciálního tavidla (HAKKO SUSSOL F) je možno zpravidla pájet i kovy obtížně pájitelné. Materiály, které pájet nelze: hliník, titan, keramika [8].

nečistoty a oxidy a zabraňují jejich dodatečné oxidaci. Aby působila co nejúčinněji, musí se tavit při teplotě o 200°C až 300°C nižší, než je teplota pájení.



Obr. 2. Schéma složení tavidel

Přesná klasifikace tavidel kvůli jejich komplexnímu působení v procesu pájení je velmi obtížná. V průběhu doby se však obecně ustálilo jejich rozdělení do čtyř základních skupin (Tab. 1):

| označení DIN | označení US | základní složky | míra aktivace | mytí po páj. |
|--------------|-------------|---|--------------------|--------------------|
| FS-W 31 | R | kalafuna bez aditiv | neaktivovaná | nevyžadováno |
| FS-W 32 | RMA | kalafuna s organ. aktivátory bez halových prvků | jemně aktivovaná | nevyžadováno |
| FS-W 26 | RMA / RA | kalafuna s halog. aktivátory | středně aktivovaná | doporučeno |
| FS-W 25 | RA | sloučeniny organ. halogenidů | aktivovaná | n u t n é ! |

Tab. 1. Rozdělení tavidel

Obecně lze říci, že v současné elektronické výrobě není nutné používat aktivovaná tavidla, protože DPS i součástky se vyznačují dobrou pájitelností. Avšak i vzhledem k ekologickým aspektům dnešní doby je žádoucí volba takových technologických postupů, aby se procesy mytí a čištění na bázi organ. rozpouštědel a halogenidových sloučenin zcela vyloučily. Z těchto důvodů je doporučováno výhradně používání neaktivovaných tavidel, pouze v případech nutnosti zrychlit pájecí proces a omezit tím případný teplotní šok některých

citlivých součástek lze použít tavidel typu RMA. Tento typ tavidel se používá také při opravách a výměně vadných součástek.

1.1.2 Pájitelnost

Pájené komponenty nestačí pouze zahřát na požadovanou teplotu a dodat pájku, ale pájené komponenty je třeba připravit – musí mít vyhovující pájitelnost. Termín *pájitelnost* povrchu je použit jako popis schopnosti povrchu být smáčený pájkou během procesu pájení. Je to funkce přesného procesu a práce materiálu; kontakt může vykazovat přijatelnou pájitelnost v některých procesech, ale v jiných ne.

Pokud se použijí DPS nebo součástky se špatnou pájitelností, nebo použijeme-li málo aktivní tavidlo, vznikne zpravidla nespolehlivý pájený spoj, který kromě nevyhovujících vzhledových kritérií má i malou mechanickou pevnost. Spoj je tím kvalitnější, čím má pájený povrch lepší smáčivost. Stupně smáčení mohou být rozděleny následovně:

- **Nesmáčení:**

V tomto případě se nevytvoří metalurgická vazba, rozhraní mezi pájkou a povrchem zůstane zřetelné. Tavidlo použité k podpoře pájení nemohlo adekvátně odstranit povrchové znečištění, protože oxidační vrstva je příliš silná nebo tavidlo není dostatečně aktivní.

- **Smáčení:**

Povrchová energie čistého kovového povrchu je vyšší, než roztavené pájky. Za této podmínky pájka smočí povrch a vytvoří tak na rozhraní metalurgickou vazbu. Čím je povrch hladší, rovnoměrnější a tloušťka pájky menší, tím je proces smáčení kvalitnější.

- **Částečné smáčení:**

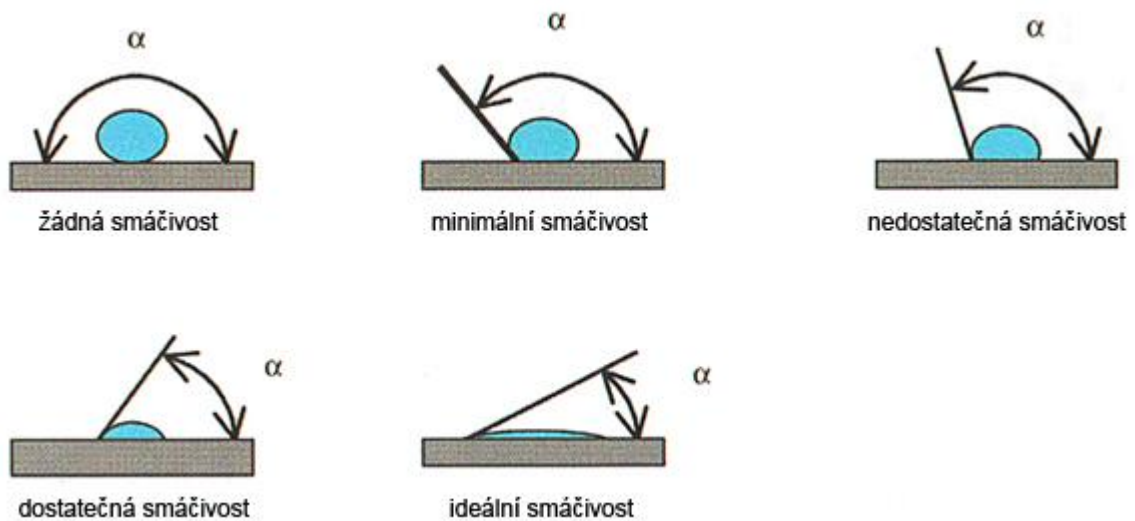
Pájka nedokonale pokrývá povrch. Vyskytují se zde oblasti, kde je povrch smáčivý a nesmáčivý

- **Odsmačení:**

Mezikovové vrstvy, které rostou na rozhraní, jsou bohaté na cínové směsi, které vytahují cín z cíno-olověné pájky. Jak je cín odtavován z pájky, opouští oblasti bohaté na olovo s relativně slabou pájitelností. Když teplota klesá dost dlouho, pak

velikost těchto oblastí bude dostatečná k tomu, že pájka ustoupí z již dříve smáčených oblastí. Tento jev se nazývá *odsmáčení*. Odsmačení se může také vyskytnout zespodu od pájeného místa, v místě vystavenému nesmáčenému povrchu, kdy je tenká pájená vrstva kovu totálně rozpuštěna do pájky. Toto může vzniknout, když se pájí kontakty z drahých kovů, které se rychle rozpustí v cíno-olověné pájce.

Příklad různé úrovně smáčivosti povrchů (Obr. 3).



Obr. 3. Úrovně smáčivosti

1.2 Výhody pájení

- menší spotřeba tepelné energie, větší pracovní rychlost, vysoká hospodárnost výroby i při použití dražší pájky
- vysoká produktivita práce (možnost zhotovení více spojů stejné jakosti zároveň)
- možnost mechanizace a automatizace pájení, přičemž pro obsluhu řízení není potřebná vysoká kvalifikace příslušných pracovníků
- kulturnější pracovní prostředí
- možnost spojování všech kovů a slitin, kombinovaných kovových a nekovových materiálů, jednoduchých i složitých tenkostěnných nebo tlustostěnných součástí
- velká rozměrová přesnost součástí pro pájení

- možnost spojení pájení s tepelným zpracováním, takže je možno dosáhnout vysoké únosnosti spoje
- pěkný povrchový vzhled spoje, popř. celé součásti (není třeba doplňkového obrobení spoje)
- vzniká menší vnitřní pnutí ve spoji a zároveň dochází i k menším strukturním změnám základního materiálu⁵
- vysoká reprodukovatelnost výsledků pájení a snadná kontrola jakosti spoje
- pájka vyplní celý průřez spoje, i když se položí jen z jedné strany (na obou stranách spoje vytvoří plynulý přechod)

1.3 Nevýhody pájení

- především u pájení naměkko je dosahováno jen malé pevnosti spojů
- pájené spoje jsou napadnutelné korozí – vzhledem k rozdílným materiálům pájky a základního materiálu (rozdíly potenciálů)
- z důvodu malých tolerancí na spáry mezi materiály musí být příprava obrobku přesná.
- použití tavidla nebo ochranného plynu je nutné

1.4 Ruční pájení

Ruční pájení se užívá pouze v malé míře, především pro vývojové práce, přepracování a opravy, je nejvíce ovlivněno subjektivními faktory. K dosažení kvalitních spojů je nutná zkušenost a odhad stavu roztavení a smáčení pájky. K pájení se používají různé tvary pájedla podle typu pájených spojů. Při pájení je třeba pohybovat hrotem pouze jedním směrem, aby nedocházelo k nekontrolovanému přehřátí. Hlavní zásadou při pájení je nepřekročit ve spoji teplotu 300°C.

⁵Ve srovnání např. s technologií svařování.

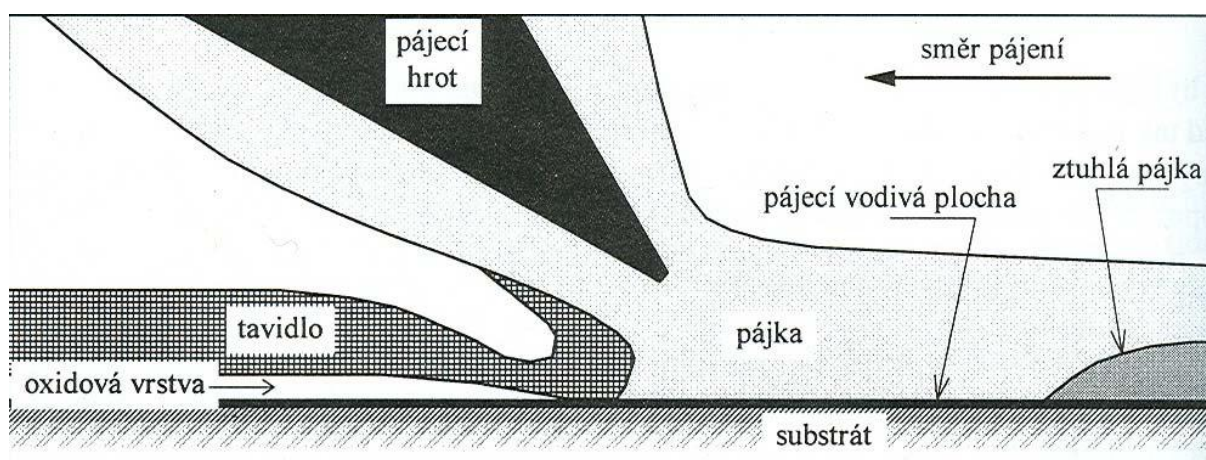
Pokud se tak stane, dojde k silné oxidaci cínu v pájce a k přepálení tavidla.

Pro pájení klasických součástek platí tato základní pravidla:

- maximální teplota pájky může být o 80 až 100°C vyšší, než je nejvyšší teplota pevné fáze pájky, tzn. 260 až 295°C
- aby bylo dosaženo požadované teploty pájky v co nejkratším čase, musí být teplota hrotu mezi 320 až 350°C
- čas vlastního pájení se pohybuje mezi 1 až 4 s

Pro SMD součástky je teplota a čas pájení o poznání nižší – podle typu součástek. To vyplývá z jejich menších rozměrů a hmotnosti.

Na obrázku (Obr. 4) je znázorněn průběh tvorby spoje. Po nanesení tavidla je spoj ohříván hrotem ruční páječky. Tavidlo je nanášeno před vlastním ohřevem, nebo se při něm uvolní teplem z dutiny v trubičce pájky.



Obr. 4. Průběh tvorby spoje

Vzhledem k času pájení jsou vhodnější krátké a široké tvary hrotů. Jejich základním materiálem je měď (vynikající tepelná vodivost), povrchová vrstva je pak kvůli životnosti upravena niklem a železem. Proces ručního pájení dnes probíhá na zařízeních s elektronicky řízenou teplotou. Důležité je umístění tepelného senzoru, jenž by měl být co nejbližší špičce hrotu, aby byla snímána teplota co nejpřesnější.

Zcela zásadní je udržovat hrot pájedla čistý, pocínovaný, bez vrstvy oxidů. Proto hrot pravidelně pocínujeme a oťreme do houbičky nebo speciálního čističe s jemnými drátky.

Hrot musí být trvale schopen udržet na sobě malé množství cínu. Pokud cín odpadá a tvoří kuličky, je hrot zoxidovaný, nebo je teplota příliš vysoká.

1.5 Strojní pájení

Jakost pájeného spoje, zhotoveného strojním pájením, není závislá na lidském činiteli. Strojní pájení poskytuje vysokou produktivitu práce, úsporu materiálů a energie, vyšší hygienu a kulturu pracovního prostředí. Protože zařízení pro strojní pájení je poměrně jednoduché, postačí pro jeho obsluhu i méně kvalifikovaná síla. Dosáhne se tím značné úspory výrobních nákladů, vysoké reprodukovatelnosti výsledků pájení, zejména ve srovnání s ručním pájením, a kratších výrobních časů.

I přes široké spektrum jsou v praxi používané nejvíce dvě metody pájení – pájení vlnou a přetavením. Je to logické, protože pokrývají téměř veškeré požadavky elektrotechnického průmyslu. Ostatní metody⁶ se využívají převážně u speciálních aplikací. Je ovšem pravda, že se stále vyšší miniaturizací i ostatní metody zvyšují svůj podíl ve výrobě.

⁶*pájení vlečením, ultrazvukem, ponorem, pájedlem*

2 PÁJENÍ PŘETAVENÍM

Pájení přetavením je dalším významným typem pájení. Princip je opačný než u pájení vlnou nebo ručního pájení kontaktním nástrojem, kdy se roztavený pájecí materiál přivádí na pájené místo. Zde se nejprve nanese pájecí materiál na pájené místo a poté se působí tepelnou energií, přičemž dochází k přetavení pájecího materiálu⁷. Důležitým faktorem pro kvalitu pájení je nejen volba správné metody a stroje, ale i pájecího materiálu – pájecí pasty.

Technologie osazování do pasty patří mezi nejperspektivnější technologie v SMT. Nevyžaduje žádné speciální postupy pro ochranu součástek proti vniknutí tavidla, žádné pájecí rámečky, atd. Pájecím materiálem je zde pájecí pasta⁸. Většina desek s vyšší technologickou úrovní je dnes zpracovávána “do pasty”. Parametry pájecí pasty jsou klíčovým prvkem k dosažení bezproblémového pájení s dostatečnou kvalitou.

2.1 Druhy přenosu tepla

Pro přetavení pájecí pasty je možno použít prakticky všechny způsoby přenosu tepla, tj.:

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- záření (radiace)

2.1.1 Vedení (kondukce)

Každá látka je charakterizována teplotou, která je mírou tepelného pohybu částic. Při kontaktu dvou látek o rozdílných teplotách předávají částice teplejší látky část své kinetické energie

⁷Teplota přetavení je poněkud vyšší, než je bod tání pájky.

⁸Jelikož je pájecí pasta cca 10-krát dražší než stejné množství pájky v tyčích, je tato technologie preferována u náročnějších výrobků.

částicím látky chladnější, tzn. přímým fyzickým kontaktem. Přenos tepla lze zprostředkovat přes tuhá, kapalná a plynná média.

Tepelný tok q , tj. množství tepla, které projde plochou S za určitý časový interval, se určí ze zjednodušeného vztahu jednodimenzionální formy Fourierova zákona.

$$q = \lambda S \Delta T / L, \text{ kde}$$

q – teplotní tok (W)

λ - teplotní vodivost materiálu ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)

S – plocha, kterou prochází teplo (m^2)

$\Delta T / L$ - teplotní gradient (Km^{-1})

\Rightarrow jistá analogie s Ohmovým zákonem: q – proud, ΔT - rozdíl napětí, $L / \lambda S$ - odpor

Touto metodou se realizuje přenos tepla z pouzder součástky/spoje na substrát.

Kontaktní metodu lze použít na pájení keramických substrátů, příp. vícevrstevných DPS s kovovým jádrem, tedy materiálů, které mají velmi dobrou tepelnou vodivost.

2.1.2 Proudění (konvekce)

Teplo se přenáší pohybem celého souboru molekul kapaliny nebo plynu. Šíření tepla prouděním je tedy intenzivnější než šíření tepla vedením (neuspořádaný pohyb jednotlivých molekul). V konvekčním proudění je i jistá část energie předávaná kondukcí. Konvekce je buď přirozená, nebo nucená.

Přirozená konvekce nastává v kapalinách nebo plynech působením gravitačních sil v místech, kde je hustota vyšších částí teplotního média větší než částí nižších, klesají hustší části dolů a řidší stoupají naopak vzhůru.

Nucená konvekce se používá tam, kde je potřeba větší přenos tepla. Proudění se vytváří uměle pomocí ventilátorů nebo čerpadel.

$$q^c = h^c S (T_s - T_a), \text{ kde}$$

q^c - přenos tepla prouděním z povrchu do okolí (W)

h^c - koeficient konvekčního přenosu tepla ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

S – plocha (m^2)

$(T_s - T_a)$ - rozdíl teploty povrchu T_s a teploty okolí T_a (K)

\Rightarrow jistá analogie s Ohmovým zákonem: q – proud, ΔT - rozdíl napětí, $1/h^c S$ - odpor

2.1.3 Záření (radiace)

Tepelná energie se přenáší zářením, tj. elektromagnetickým vlněním. Množství tepelné energie přenesené radiací mezi dvěma tělesy teploty T_1 a T_2 lze vyjádřit rovnicí:

$$q = \varepsilon k (T_1^4 - T_2^4), \text{ kde}$$

q – množství tepelné energie

ε - koeficient vyzařování

k – Stefan-Boltzmanova konstanta $5,67 \cdot 10^{-8} (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4})$

T_1, T_2 - teploty

2.2 Metody pájení přetavením

Podle způsobu ohřevu se rozlišují následující metody pájení přetavením (Tab. 2):

- pájení horkým vzduchem nebo plynem (konvekční ohřev)
- pájení infračerveným zářením (krátce nazývané pájení infraohřevem)
- pájení v kondenzovaných parách (krátce nazývané pájení kondenzační)
- pájení laserem
- pájení vyhřívaným nástrojem (někdy nazývané pájení impulsní)
- pájení na horké desce nebo pásu

| Faktor | IR | Kondenzace | Konvekce |
|------------------------------|---------------|-------------|---------------|
| Řízení procesu | dobré | výborné | velmi dobré |
| Pracovní teplota | regulovatelná | pevná | regulovatelná |
| Homogenita pracovní teploty | špatná | velmi dobrá | dobrá |
| Max.teplota | špatně def. | pevná | špatně def. |
| Univerzálnost | ucházející | velmi dobrá | dobrá |
| Citlivost na barvu materiálu | velká | žádná | malá |

Tab. 2. Srovnání tří nejdůležitějších metod pájení přetavením

Konvekční pájení je nejrozšířenější metodou. Součástky, DPS i pájecí pasta jsou ohřívány proudem vyhřátého plynu. Méně se používá infraohřev, kondenzační metoda, metoda pájení pomocí laseru, případně kontaktní metody – vyhřátým nástrojem nebo vyhřátým pásem.

2.2.1 Konvekční pájení

Při pájení horkým plynem se teplo potřebné pro přetavení pájky získá průchodem tlakového plynu, nejčastěji vzduchu nebo dusíku, ohřívacím zařízením. Množství tepla je regulováno jednak teplotou, jednak rychlostí proudění plynu. Při ručním pájení je horký plyn usměrňován tryskou na požadované místo. Tryska má průměr asi 2 mm, průtok plynu je malý – asi 1 až 5 l/min. Teplota na výstupu trysky je 350 °C – 400 °C. Při pájení vícevývodových pouzder musíme zajišťovat kontinuální rovnoměrný pohyb trysky po všech pájených vývodech. Jsou-li rozměrné součástky chladné (na teplotě 20 až 25°C) trvá proces pájení až několik jednotek a desítek vteřin. Pokud jsou pájené předměty předehřátý na teplotu asi 100 až 150°C, proběhne pájecí proces rychleji.

Pájení horkým plynem se využívá především v opravářské technice, kde je výhodné lokální ohřívání. Bezdotykové trysky mohou být uspořádány do podlouhlých štěrbin, takže lze ohřívát celé řady vývodů současně. U plochých pouzder nebo u čtvercových pouzder se tak ohřívají všechny vývody jednoho integrovaného obvodu. Kromě toho je ohřev horkým plynem (vzduchem) často používaným způsobem ohřevu řadových pájených spojů

v opravářské technice při vyjímání pouzder FP, QFP. Obvod je přitom přichycen vakuovou

pipetou, takže v okamžiku roztavení pájky je součástka zvednuta a ohřev je ukončen.

výhody:

- možnost použití stále stejných zařízení
- nebezpečí utržení plošek mechanickým poškozením není žádné
 - Pouze je třeba mít dobře nastavenou teplotu vzduchu. Příliš vysoká teplota by mohla poškodit desku plošných spojů delaminací.

nevýhody:

- menší účinnost (20 až 30%)
- větší energetická spotřeba
- vyšší míra oxidace pájecí pasty při pájení ve vzduchu

2.2.2 Pájení infračerveným zářením

Po nanesení pájecí pasty a vložení součástek se roztavené pájené spoje vytvoří tak, že se sestava vystaví vlivu tepelné energie s cílem zahřát pájecí pastu a její okolí nad bod tavení slitiny.

Energie, kterou dochází k přetavení pájecí pasty, se na montážní celky dostává zářením z IR zářičů. Množství tepla, které je absorbováno, záleží na koeficientu, jehož velikost souvisí s barvou povrchu a vlnovou délkou záření. Obecně lze konstatovat, že absorpce záření se vzrůstající vlnovou délkou klesá⁹. Při pájení infračerveným zářením nastává jev, kdy součástky s tmavším povrchem jsou více zahřívány, než místa, kde se nachází pájecí pasta. Dochází tedy k nerovnoměrnému rozložení teploty na povrchu desky plošného spoje, což má vliv na kvalitu pájení a tepelné namáhání součástek.

⁹*Vyzařovaná vlnová délka je tím delší, čím je nižší teplota zdroje ⇒ nižší energie.*

výhody:

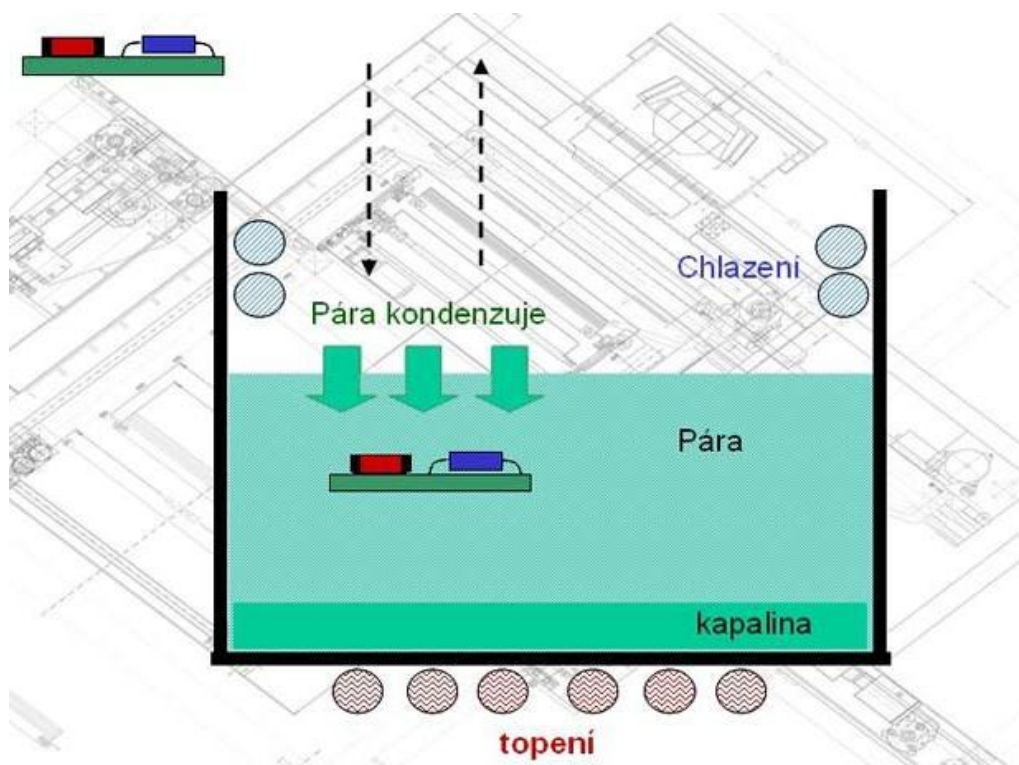
- vysoká účinnost procesu (60 až 70%)

nevýhody:

- nehomogenní ohřev, který závisí na vlastnostech materiálu DPS i součástek (pronikání záření)
- velký rozdíl teplot při měření příčného teplotního profilu
- nevhodnost pro pájení nové generace součástek typu BGA

2.2.3 Kondenzační pájení

Při pájení v parách (vapourphase soldering) jde především o to, aby inertní médium změnou svého skupenství předalo teplo pájenému výrobku. Teplo se předává procesem kondenzace par - měli bychom tedy z technického hlediska mluvit o kondenzačním pájení (Obr. 5).



Obr. 5. Schéma kondenzačního pájení v parách

Jak tyto páry vznikají? Když se spustí toto zařízení, je v parní komoře na dně nádrže studená kapalina. Po zapnutí topení se tato kapalina zahřívá, dokud její teplota nedosáhne

bodu varu, např. 200°C. Kapalina se pak dostane do varu a její teplota už nemůže dále narůstat.

Další přívod tepla od tohoto okamžiku slouží pro vytváření par. Protože jsou tyto výpary dosti těžké, vytváří se z nich parní zóna, která je stále hustší a hustší. Tyto výpary slouží pro přenos tepla do pájené soustavy. Jsou velmi těžké¹⁰, proto vytlačují veškeré lehké plyny, které jsou nad nimi. Takovým způsobem se vytváří ochranná atmosféra bez použití dusíku, který se využívá i v jiných pájecích postupech.

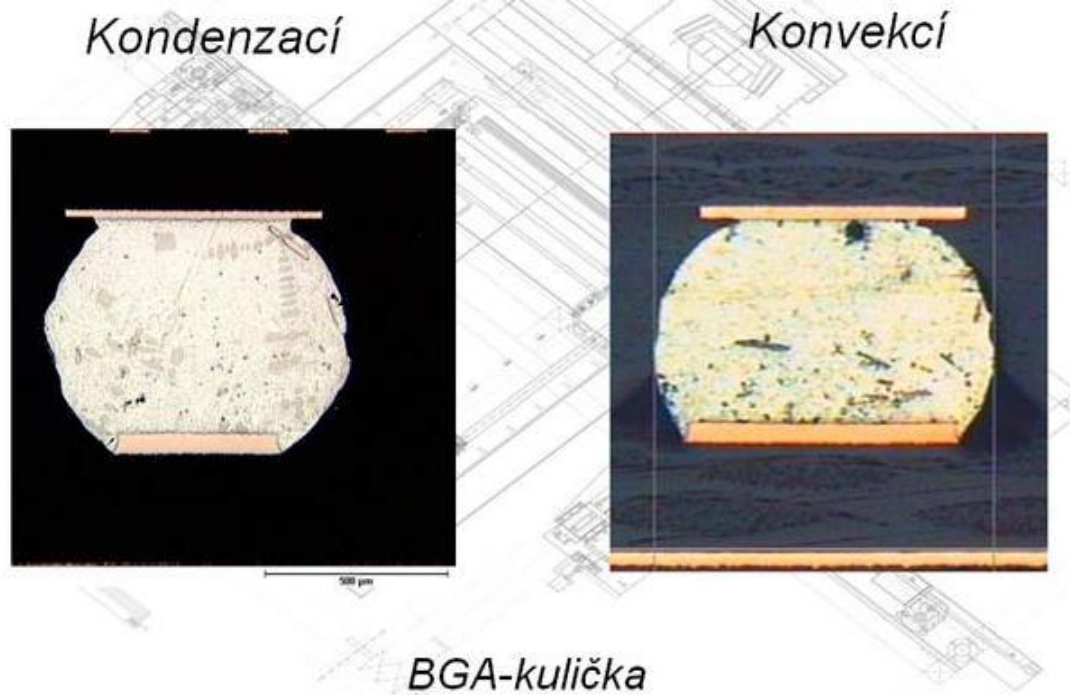
Výpary z každé kapaliny mají tendenci kondenzovat na chladnějším povrchu. Jestliže se do těchto par dostane osazená karta, tyto páry na ní kondenzují, protože je chladnější. Jestliže tato karta není přehřátá, kondenzuje na ní více par než v případě, kdy přehřátá je. V obou těchto případech výpary na kartě kondenzují, dokud se tato nezahřeje na teplotu par nebo dokud se nedostane pryč z oblasti těchto par.

výhody:

- rychlé a spolehlivé zahřívání těles o velké hmotnosti
- teplota karty nemůže být vyšší než teplota par, proto zde není nebezpečí jejího přehřátí
- podstatně zlepšený přenos tepla¹¹ - z Obr. 6 je patrné, že v parách došlo k lepšímu navzlínání pájky a tím pádem máme lepší spoj

¹⁰ve srovnání s vodní parou nebo vzduchem

¹¹Koeficient přenosu tepla je u kondenzačního pájení o poznání vyšší, než u pájení horkým plynem.

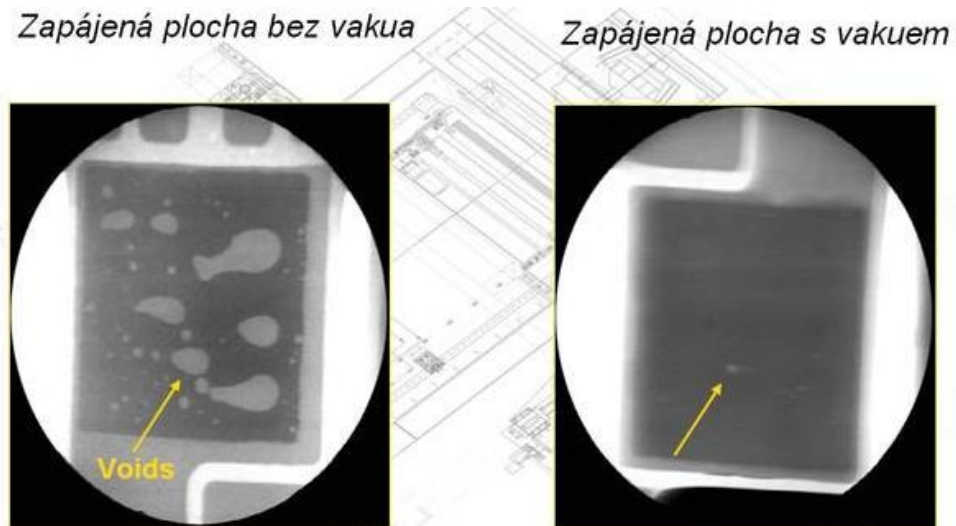


Obr. 6. Pájení BGA součástek

- pájecí pasta se přetaví při procesu kondenzace par fluorovaných uhlovodíků, není možné přehřát montážní celek
- velmi kvalitní výsledky pájecího procesu, uniformní ohřev, vhodné i pro BGA
- pájení probíhá bez přítomnosti kyslíku, je možno použití tavidla s malou aktivitou
- možnost použití vakua (Obr. 7)
- V okamžiku, kdy je pájka "v liquidu"¹² odsajeme z procesní části zařízení páry pomocí vakuové pumpy a snížíme tlak na cca 10 - 20 mbar. Tím dojde k tomu, že "bublínky", které jinak vznikají v pájeném bodě, jsou odsáty a kvalita a spolehlivost spoje rapidně vzroste¹³.

¹² tzn., že je tekutá

¹³ Použití této techniky musí mít své zdůvodnění z důvodu vyšší ceny



Obr. 7. Vliv použití vakua

nevýhody:

- pájení probíhá často v parách fluorovaných uhlovodíků (upouští se od nich z ekologických důvodů)
- vyšší cena procesu

2.2.4 Pájení laserem

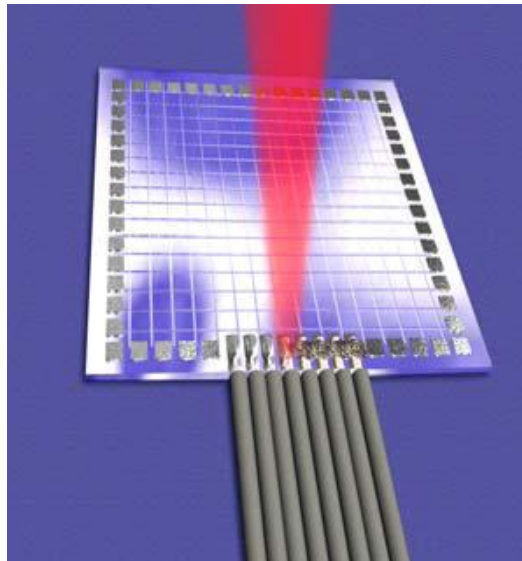
Pájení pomocí laseru (Obr. 8) se zatím používá jen v některých SMT aplikacích¹⁴. Velkou výhodou je velmi přesné lokální přetavení pasty, které způsobuje programově řízený laserový paprsek. Ohřev bývá velmi krátký, asi 5 ms, čímž se vylučuje vznik intermetalických struktur na pájeném spoji. Úzce směřovaný paprsek předurčuje laser na lokální pájení, tzn., že se paprskem pájí jedno pájené místo po druhém.

Laserové pájení lze zařadit do kategorie přenosu tepla pomocí infračerveného záření. Precisní výsledky jsou dané jak přesným množstvím energie, tak i přesným pozicováním laserového

¹⁴Odhaduje se, že asi v 5% všech případech.

paprsku +/- 80 μ m. Laser se často používá pro formování spojů speciálních vlastností.

K pájení se používá pájecí pasta i trubičková pájka. Pájí se vývodové součástky, SMD.



Obr. 8. Pájení laserem

Dva typy laserů

YAG - pulsní

Pomocí tohoto typu laseru je generován impulsní laserový paprsek a vlnové délce 1,06 μ m. Záření proniká sklem a většinou plastických hmot a je přijatelně absorbováno kovy. Při pájení není nezbytné vypínat paprsek při přemísťování.

CO₂ - plynový

Zcela odlišný je typ laseru (plynový nebo přesněji řečeno CO₂), který generuje vlnovou délku asi 10 μ m. Vlnová délka 10 μ m je ochotně pohlcována plasty, méně ochotně kovy. V důsledku toho mohou být plastové části na desce zničeny paprskem laseru CO₂, pokud nejsou učiněna zvláštní opatření. Na druhé straně, jestliže se požaduje roztavení pájky, požadovaný účinek tohoto laseru je podstatně větší, než laseru YAG, protože pájka absorbuje záření tavidlem a organickými složkami pájecí pasty. Laser CO₂ má podstatně vyšší účinnost (až 15%) než Neodym Glass (1%). Plynový laser není vhodný používat na pájení bez tavidla a je třeba dávat pozor na silnou odrazivost.

výhody:

- vhodné k pájení materiálů citlivých k teplu
- minimální teplotní ovlivnění součástek
- relativně velké pájecí teploty
- možnost použití rozdílných pájek
- velká flexibilita procesu

nevýhody:

- vysoká cena
- nízká rychlost¹⁵

2.2.5 Pájení vyhřívaným nástrojem

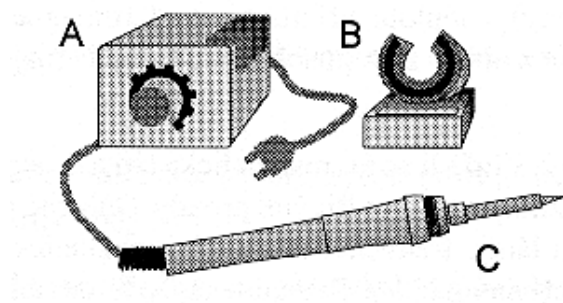
Pájení vyhřívaným nástrojem (Obr. 9) je nejjednodušší a nejběžnější metoda pájení. Obecně platí:

- maximální teplota 300°C
- teploty v bodě musí být dosaženo v co nejkratším čase
- doba pájení by měla být mezi 1 až 4 s¹⁶

Existuje nepřeberné množství tvarů hrotů. K pájení obvodů s jemnou roztečí se využívá speciální hrot – tzv. minivlna.

¹⁵ *produktivita laseru je na úrovni ručního pájení*

¹⁶ *pro SMD platí ještě kratší doba (menší rozměry)*



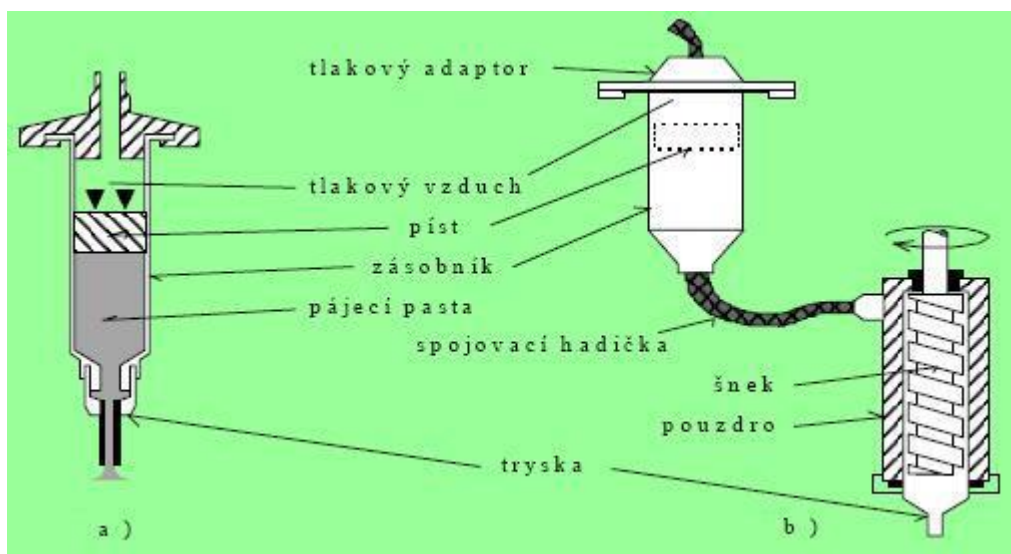
Obr. 9. Běžný typ ručního pájedla.
A) napájecí zdroj, B) stojánek na pájedlo, C) pájedlo – pájecí hrot v rukojeti

2.3 Postup povrchové montáže

Se samotným procesem je spjata množství procesních parametrů, které se projevují postupně, tak jak výrobek prochází jednotlivými výrobními bloky. Je vhodné mít na zřeteli předpokládaný technologický postup již při návrhu DPS!

2.3.1 Nanesení pájecí pasty

Pájecí pastu lze zakoupit již připravenou v injekční stříkačce a ručně ji vytlačit na pájecí plošky. Pasta je ale poměrně hutná a protlačit ji skrz tenký hrot vyžaduje značnou sílu. A když je pasta silou mačkána z injekční stříkačky, těžko se dá přesně trefit na pájecí plošky. Daleko lepší řešení poskytují automatické dávkovače (dispensery) – Obr. 10.



Obr. 10. Způsoby nanášení pájecí pasty. A) tlakový, B) s využitím rotační pumpy

- **a - tlakový dávkovač**

V případě tlakového nanášení s definovanou dobou je pasta protlačována po určitý definovaný čas dávkovací hlavici s tryskou, jež připomíná injekční stříkačku. Tlakový dávkovač pracuje na principu kompresoru, kdy je vzduch přiváděn do zásobníku s pájkou ve formě pasty¹⁷ a pístem. Zásobník má tvar injekční stříkačky a má i podobnou funkci. Dávkování se může spouštět nohou, nebo tlačítkem na zásobníku, je zde také možnost nastavit délku dávkovacího cyklu. Po stisku pedálu elektromagnetický ventil pustí tlak vzduchu na píst do zásobníku a je vytlačena pasta, kterou umístíme na PAD.

- **b - dávkovač s využitím rotační pumpy**

Zásobník s pájecí pastou je pod konstantním tlakem 0,5 bar, což zabezpečí naplnění hlavice, v níž je vedeno vřeteno. V době, kdy se vřeteno začne otáčet naznačeným směrem, dojde přes trysku k přenosu pasty na kontaktní plochu. Parametry takového zařízení jsou rychlost otáčení vřetena, doba otáčení vřetena, plnicí tlak a kapacita hlavice.

Faktory, které mohou výrazně ovlivnit výsledek:

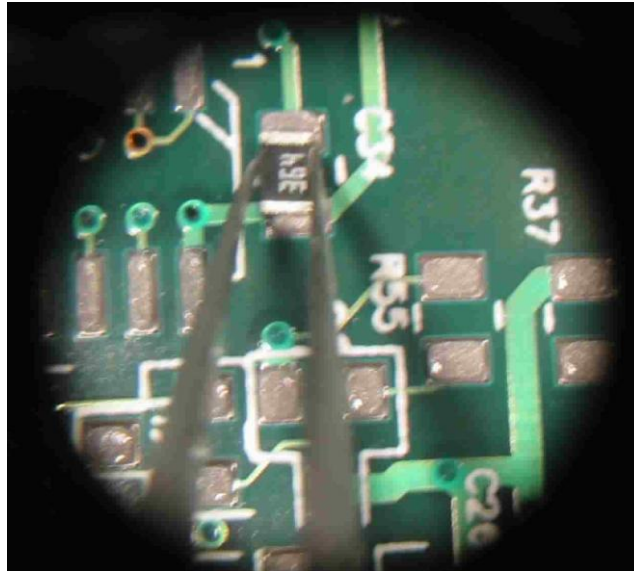
- velikost, tvar a tloušťka apertur při použití sítotisku či šablony
- parametry dávkovacího nanášení

2.3.2 Osazení součástek

Ačkoliv existují různé osazovací systémy, základní princip je u všech zařízení stejný. Součástka je uchopena, vystředěna do polohy určené k připájení a vsazena na určené kontaktní plošky na substrátu (Obr. 11). Pro tento způsob osazování se vžil název „pick and place“¹⁸.

¹⁷obsahuje v sobě lepidlo, tavidlo a vodivou směs

¹⁸„vezmi a umísti“



Obr. 11. Osazení součástek do nanesené pasty

Úspěšnost této operace závisí na přesnosti provedení, resp. na splnění předem stanovených rozměrových tolerancí, jež se týkají:

- substrátu s vodivými kontaktními ploškami
- součástek
- osazovacího zařízení

Osazovací zařízení musí zajistit následující funkce, které současně tvoří základní technologické kroky průběhu této operace:

- transport substrátů, jejich upevnění a umístění pro vsazování součástek
- uchycení zásobníků se součástkami a jejich přípravu k osazování
- vyzvednutí, vystředění a osazení součástek na substrát

Zaměření a vystředění součástek se provádí potom, kdy dojde k uchopení součástky vakuovou pipetou umístěnou na osazovací hlavě. Vystředění součástky uchopené vakuovou pipetou je prováděno jedním z následujících způsobů:

- mechanicky, s pomocí upínacích čelistí
- opticky, s použitím optického zaměřovacího systému

Faktory, které mohou výrazně ovlivnit výsledek:

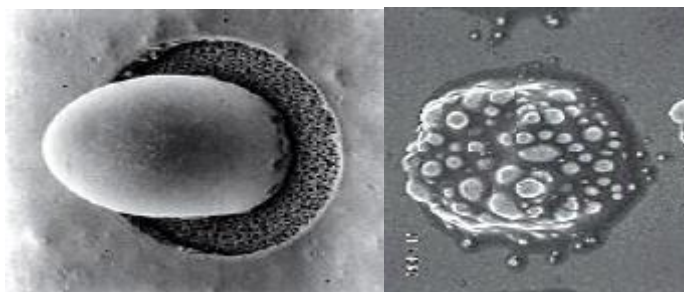
- přesnost osazení
- způsob manipulace se součástkou

Při propojování plošek umístěných blízko sebe musí být propojka provedena tenkým vodičem. Při nesprávném propojení dochází k nahromadění pájky na velké ploše a při ohybu desky může dojít k prasknutí spoje. V případě pájení přetavením může pájka, která se roztéká po ploše, způsobit posuv součástky – tomu lze předejít použitím nepájivé masky.

Nepájivá maska je nepájivá vrstva nanesená na povrch plošného spoje a má za úkol zajistit ochranu části plošek a vodičů proti pokrytí pájkou.

2.3.3 Přetavené pájecí pasty

K přetavení pájecí pasty (Obr. 12) se používá horký vzduch. A to buď po celé ploše najednou, anebo lokálně "foukáním". Nastavení teploty a intenzity "foukání" je nutno vyzkoušet. Záleží také na tom, z jaké výšky a jak dlouho se fouká. Stačí foukat do té doby, než se pájecí pasta roztaví v celém svém objemu a součástky se natočí a vyrovnají. Natáčení a vyrovnávání součástek funguje díky povrchovým silám kapaliny (roztavené pasty) a při jejím následném chladnutí, respektive tuhnutí. Správná funkce je ale zaručena jen při správně (pro tyto účely) navržené DPS. Stačí použít pájecí plošky stejně široké jako vývody součástky nebo dokonce o něco málo užší. Při špatném návrhu DPS však mohou nastat potíže. Pokud je odvod tepla z jedné pájecí plošky rychlejší než z druhé, může se při přetavení taková součástka postavit a vznikne tzv. Tombstoning efekt (Manhattan efekt).



Obr. 12. Pájecí pasta po nanesení a po přetavení

Při přetavení samozřejmě také dochází k velmi důležitým jevům, které je navíc možné do jisté míry nepřímo ovlivňovat nastavením a přípravou celého procesu. Jsou to například

difúze pájky, rychlost, síla a úhel smáčení slitiny, její přilnavost, tvorba intermetalických sloučenin ve spojích, formování tvaru spojů, oxidační a redukční chemické reakce, vznik bublin, prasklin apod.

Faktory, které mohou výrazně ovlivnit výsledek:

- povaha a typ atmosféry (vzduch, dusík, vodík apod.)
- doba působení tepla na výrobek
- tvar pájecího teplotně-časového profilu
- gradienty
- teploty tavení pájecích slitin
- teploty aktivace tavidel
- teplotní maxima
- prodlevy nad teplotou liquidu
- závěrečné chlazení

2.3.4 Odstranění můstků

Pokud se slije pájka sousedních vývodů integrovaných obvodů a vytvoří tzv. mosty (zkratky), stačí přiložit kapilární odsávací pásek a ohřát jej mikropáječkou. Přebytečná pájka se do něj díky kapilárnímu jevu a také díky tavidlu, kterým je napuštěn, nasákne.

2.3.5 Čištění

Čištění je proces, který má za úkol odstranit zbytky tavidla po pájení. Na desce zůstane přebytečné tavidlo, které by časem desku ničilo. Tavidla bývají poměrně agresivní a dokážou dlouhodobým působením spoje doslova „rozežrat“, což se projeví pochopitelně ve spolehlivosti výsledného zařízení. Z pájecí pasty obvykle zůstane podstatně méně tavidla než při použití klasické trubičkové pasty, nicméně i tak je oplach tavidla nutný.

Při používání trubičkové pájky zůstanou na spojích a v jejich bezprostředním okolí zbytky tavidla (kalafuny). Ty znemožňují vizuální kontrolu kvality spojů a mohou i po delší době absorbovat jisté množství vzdušné vlhkosti, stát se částečně vodivými a narušit funkci

zapojení. Proto je nutné ještě před oživením desku vyčistit. U velmi jednoduchých zapojení nevede ponechání nečistot mezi spoji nutně k poruše, u složitějších desek by se však nikdy nemělo nevynechávat.

volba rozpouštědla:

Rozpouštědlo musí mít samozřejmě schopnost odstranit zbytky tavidla, současně ale nesmí:

- naleptávat plasty použité na desce (pouzdra IO)
- smývat popisy součástek
- pronikat podél kovových vývodů do pouzder IO
- narušovat čipy při delším působení¹⁹

čistící média:

- alkoholy – izopropylalkohol, etylalkohol
- deionizovaná voda (tzv. DEMI voda) – pro vodou rozpustná tavidla
- fluorované uhlovodíky
- směsi uhlovodíků – nemusí se oplachovat
- terpeny – nezanechávají žádné zbytky

2.4 Trendy v reflow pájení

- kontinuální zlepšování kvality pájení při dalším snížení koncentrace O₂ v dusíkové atmosféře

¹⁹Nerespektování může vést k tomu, že zařízení vypadá zcela čistě, bylo úspěšně oživeno a dokonce pracuje několik týdnů nebo i měsíců, pak ale dojde k „nevysvětlitelné“ poruše, kterou si už po takové době logicky nikdo s volbou nevhodného rozpouštědla nespojuje.

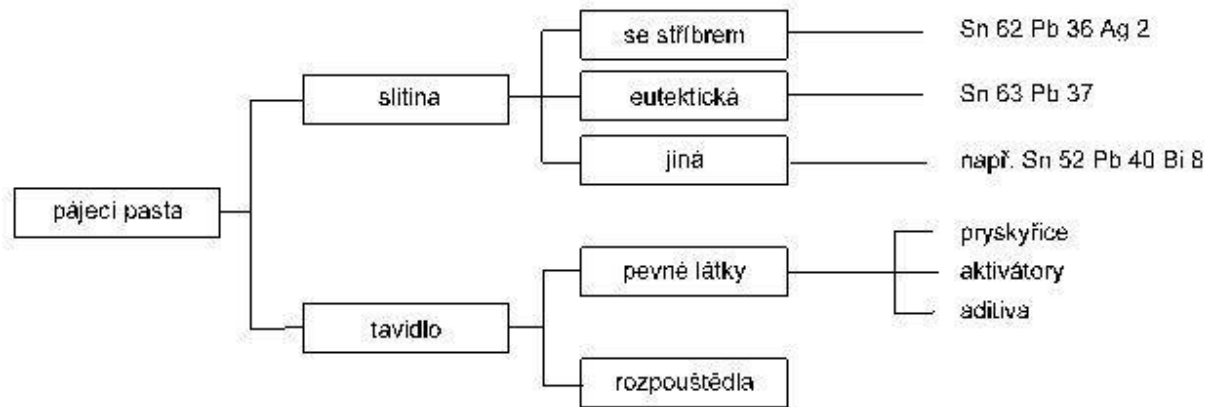
- nucená konvekce s recirkulací plynného média
- zlepšení technického vybavení reflow pecí, např. samočištění tj. "spálení" z kondenzovaných tavidlových zbytků krátkým cyklickým ohřevem a jejich odsátí, přídavné spodní chlazení v přetavovací sekci aj.
- monitorování procesu vč. SPC

2.5 Srovnání metody s pájením vlnou

- širší a kratší pájecí plošky
- není nutno před pájením přilepovat součástky
- malá vzdálenosti mezi součástkami na desce, nezáleží na orientaci
- pájka a tavidlo se vhodným technologickým postupem aplikují pouze v místech, kde je třeba, výsledkem je:
 - úspora materiálu
 - pájka a tavidlo se dávkuje v přesně definovaném poměru
 - je vyloučena „nekontrolovatelná“ přítomnost nečistot, které se mohou dostat na pájený spoj při pájení vlnou
- pájecí proces probíhá bez teplotních rázů
- přesný technologický postup aplikace pasty umožňuje dosáhnout vyšší hustoty montáže
- oboustranná montáž SMD

2.6 Pájecí pasty

Pájecí pasty jsou směsí kovové složky - pájecích zrn a organické složky - tavidla. Obvyklé složení pájecí pasty je: 90 % pájecích zrn a 10 % tavidla. Složení pájecí pasty lze znázornit následujícím schématem (Obr. 13):

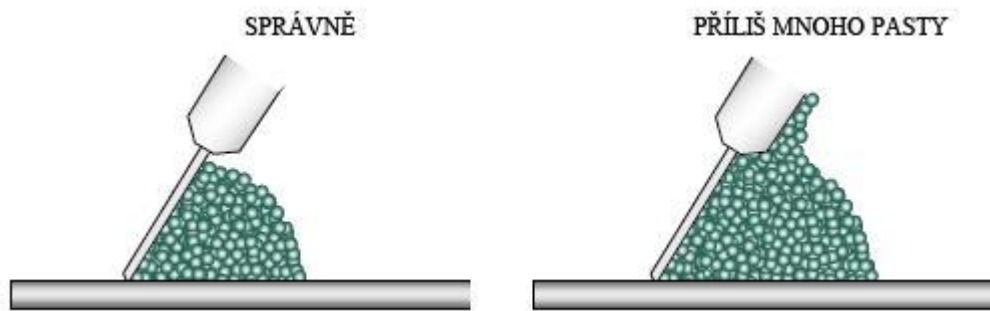


Obr. 13. Složení pájecí pasty

Platí zásada: dobře natisknuto = z poloviny zapájeno![\[10\]](#)

Nanášení pájecí pasty: (Obr. 14)

- dávkování – dispečerem
 - ručním nebo strojní
 - pasta se nanáší jednotlivě na pájená místa
 - pasta je vytlačována z kartuše pomocí pístu nebo šroubovice přes jehly různých průměrů
- tiskem přes síto – sítotiskem
 - pasta se nanáší hromadně na všechny pájené plochy tiskem přes síto s motivem
- tiskem přes šablonu – šablonotiskem
 - pasta je nanášena obdobně jako u sítotisku, ale motiv je vyleptán do kovové planžety

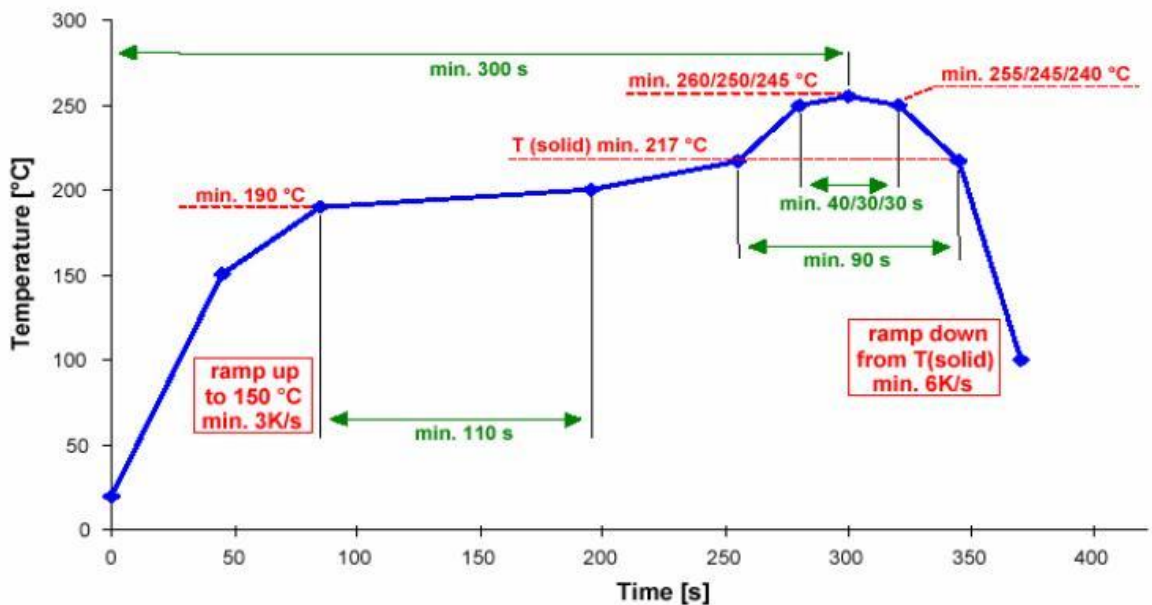


Obr. 14. Nanášení pájecí pasty

Pájecí pasty mají mnoho různých vlastností a parametrů. Výsledná jakost pájeného spoje pak je dána optimální volbou a výběrem konkrétního materiálu pro danou aplikaci.

3 TEPLOTNÍ PROFIL

Teplotní profil (Obr. 15) je pro pájení přetavením důležitým faktorem představujícím průběh teploty na čase po dobu pájení. Nejvyšší teplotou je teplota přetavení, ovšem podstatný je také náběh z počáteční pokojové teploty, dále předehřev a také závěrečná fáze po přetavení - chlazení. To vše ovlivňuje tvorbu a vznik pájeného spoje, a především pak i jeho spolehlivost a životnost.



Obr. 15. Průběh teplotního profilu

3.1 Základní parametry

1. Náběh na teplotu předehřevu

Se zvyšující se teplotou dochází k odpařování tavidel. Rychlost odpařování se liší v závislosti na bodu tání použitých tavidel.

Stejným způsobem se začne změkčovat i kalafuna a tixotropní materiál. Měknutí jednotlivých materiálů závisí na jejich bodech tání. Obecně lze říci, že měknutí pájecí pasty je kolem 100 °C.

V případě, že je nárůst příliš strmý a způsobuje změkčení pevných látek, zatímco zbyla velká část tavidla, která způsobuje zvodnatění pájecí pasty, může dojít k sesuvu – dochází k poruchám pájení – ke tvorbě kuliček a můstků.

2. Předehřev

V tomto úseku je nutné zcela vysušit a tepelně aktivovat tavidlo a rozložit teplo rovnoměrně na substrát. Tavidlo změkne nakolik, že se z něj stane kapalina.

Se zvýšením teploty také dochází k aktivaci tavidla a následnému odstranění nečistot z pájeného povrchu, což vede ke zlepšení jeho smáčivosti.

3. Maximální teplota přetavení

Minimální přípustný teplotní vrchol je obvykle 195°C - 205°C, maximální potom 220°C - 230°C. Pokud teplota DPS příliš stoupne, může se stát, že okraje zhnědnou a při teplotě nad 230 ° C může dojít k poškození součástí. Naopak, pokud není DPS dostatečně ohřátá, pájecí pasta nebude správně přetavena.

4. Doba na teplotě liquidu

Zejména v bezolovnatém pájení se jedná o nejdůležitější úsek. TAL (Time Above Liquid) je čas nad maximální teplotou, při které mohou krystaly tát v termodynamické rovnováze. Postupem času se začne v tavenině vytvářet stále více krystalů pod teplotou liquidu. Zatímco vystavení vyšším teplotám v TAL může být destruktivní, doba potřebná k dosažení účinné změny pájecí pasty není škodlivá. Pro minimalizaci destrukcí je nutno co nejrychlejší dokončení této fáze. V případě několikerého opakování tohoto procesu může dojít až ke zničení DPS.

Pokud je doba nad teplotou liquidu příliš dlouhá, dochází ke vzniku křehkých spojů. Naopak pokud je tato doba kratší než 30 sekund, může se stát, že kolísání teplot v peci během produkce způsobí poklesnutí profilu pod teplotu přetavení.

5. Chlazení

Doba poklesu teploty by měla být co nejrychlejší za účelem kontroly velikosti zrna, ale neměla by překročit 6°C/s.

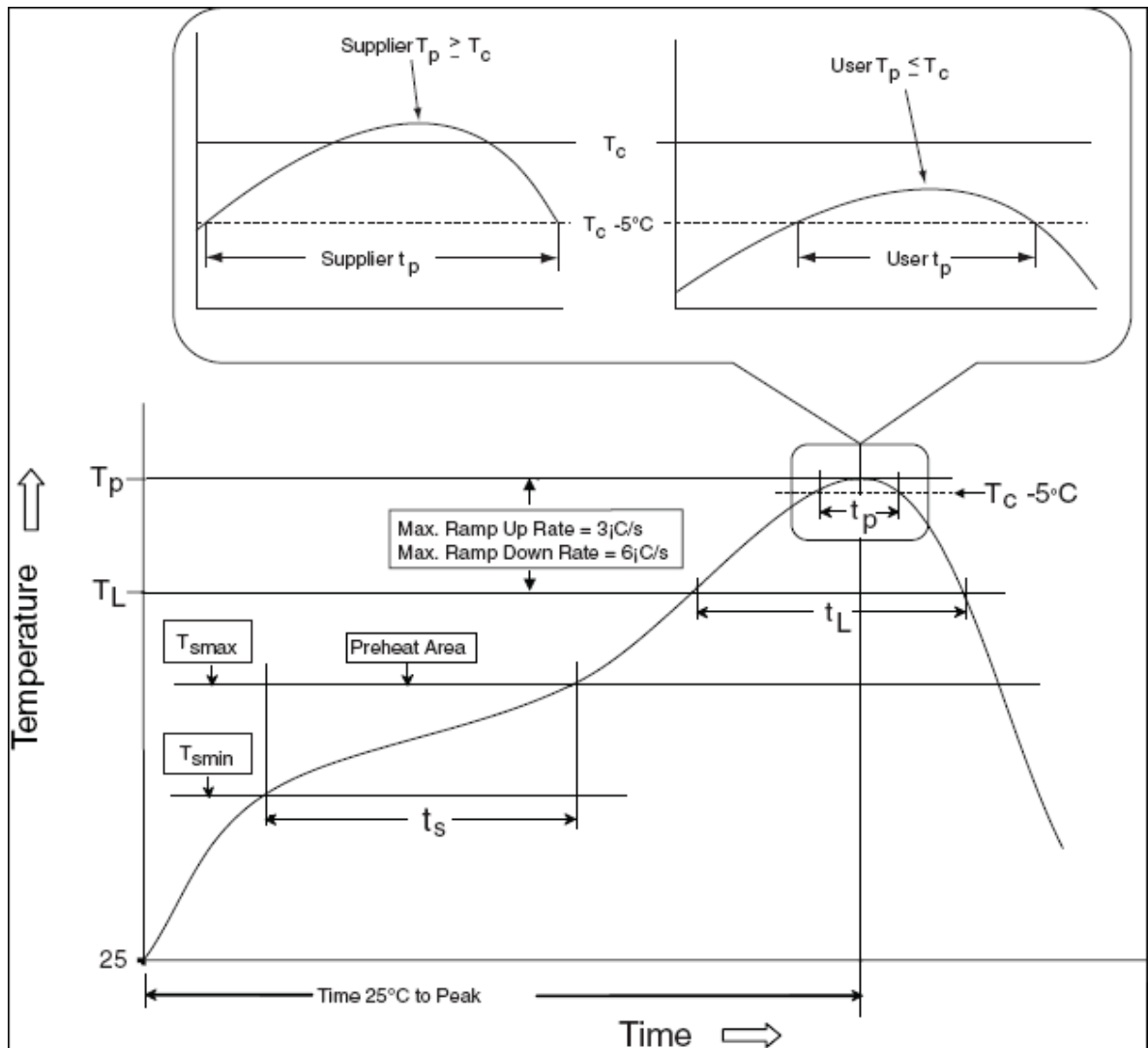
Faktory ovlivňující čas a teplotu při pájení:

- Deska plošného spoje
 - počet vrstev, rozměry, složení substrátu
- Osazené součástky
 - tvar, rozměry, barva, množství, materiál
- Pájecí pasta
 - složení, použité tavidlo

Kritéria pro vyhodnocení profilů:

- Teplotní gradienty
 - během předehřevu i během chlazení
- Dosažená teplota
 - ve všech čtyřech fázích
- Teplotní rozdíl ΔT
 - hlavně na konci předehřevu a přetavovací fáze
- Čas nad teplotou tání
 - část přetavovací fáze

Obr. 16 a Tab. 3 popisují průběh teplotního profilu včetně důležitých parametrů.



Obr. 16. Popis průběhu teplotního profilu reflow pájení

| Parametr | s použitím olova | bezolovnaté |
|--|------------------|--------------|
| Rychlost nárůstu teploty | max. 3°C/sec | max. 3°C/sec |
| Minimální teplota předehřevu (T_{smin}) | 100°C | 150°C |
| Maximální teplota předehřevu (T_{smax}) | 150°C | 200°C |
| Čas předehřevu (t_s) | 60s – 120s | 60s – 180s |
| Teplota liquidu (T_L) | 183°C | 217°C |
| Doba na teplotě liquidu (t_L) | 60s – 150s | 60s – 150s |
| Doba, kdy se teplota pohybuje do 5°C od teplotního vrcholu (t_p) | 10s – 30s | 20s – 40s |
| Rychlost poklesu teploty | max. 6°C/sec | max. 6°C/sec |
| Doba, kdy se teplota liší o víc než 25°C od teplotního vrcholu | max. 6min | max. 8min |

Tab. 3. Parametry reflow pájení pro olovnaté a bezolovnaté pájky

Důležité je zajištění rovnoměrné a konstantní teploty v příčném řezu pece. Toto je ovlivněno velikostí a barvou součástek, a to vše dále souvisí se způsobem ohřevu resp. přenosem tepla ze zdroje na pájené spoje.

3.2 Způsoby měření

Správný teplotní profil při pájení je základním předpokladem pro kvalitní a spolehlivou produkci. Měří se:

- **podélný teplotní profil** – tj. teplotní závislost na čase měřená na montážním celku při průchodu tunelem. Měření se využívá pro optimalizaci procesu nových typů DPS a pro kontrolu a dokladování nastavení procesu dle norem řady ISO 9000.
- **příčný teplotní profil** – charakterizuje nehomogenitu přetavovacího tunelu v příčném směru během pájecího procesu. Je dán konstrukcí pece a je ovlivněn zástavbovou hustotou DPS. Profil je nutno sledovat při náročnějších aplikacích a odpovídajícím způsobem volit orientaci montážního celku při průchodu. Kvalitní přetavovací pece dosahují hodnot +/- 2°C.

K měření se používá teplotní profiloměr se 3 – 6 kanály, na kterém jsou připojeny termočlánky. Měřená data se zpravidla zaznamenávají do paměti RAM profiloměru a poté přenáší do počítače. Využívá se i přímý přenos měřených dat z profiloměru do počítače pomocí RS 232, IR nebo radiových frekvencí. Termočlánky se upevňují na horní i spodní stranu DPS, do pouzder součástek i na vývody. Cílem je co nejlépe monitorovat rozložení teploty na DPS i součástkách při různých zástavbových hustotách.

Teplotní profil je třeba vždy optimalizovat pro konkrétní typ montážního celku, i typ pájecí pasty. Rozhodujícími parametry jsou u:

- pájecí pasty
 - typ pájecí slitiny
 - typ tavidla
 - množství kovového podílu
 - velikost kuliček slitiny

- montážního celku
 - zástavbová hustota/hmotnost
 - rozmístění/typy součástek
 - teplotní vodivost substrátu

Nesprávný teplotní profil je jedním z hlavních faktorů, který ovlivňuje vznik defektů ve výrobním procesu.

4 OLOVNATÉ A BEZOLOVNATÉ PÁJKY

Olovnatá pájka se v procesu pájení používá už po desetiletí. Velmi dobré elektrické a mechanické vlastnosti olovnaté pájky umožnily vývoj celé řady montážních a pouzdřících technologií. Zákazem užívání olova v procesu pájení²⁰ se do popředí dostal vývoj a diagnostika bezolovnatých pájek. Aby mohly být bezolovnaté pájky úspěšně implementovány do procesu pájení, je nutné, aby vykazovaly stejné parametry, jako pájka olovnatá. Tyto parametry jsou neustále zkoumány a vývoj bezolovnatých pájecích slitin není u konce.

4.1 Problémy s použitím bezolovnatých pájek

Schopnost rozliti bezolovnatých pájek je daleko nižší, než je tomu u olovnatých eutektických pájek. Plocha rozliti je přibližně třetinová oproti olovnatým eutektickým pájkám. Nízká schopnost rozliti je obecnou charakteristickou vlastností bezolovnatých pájek (Obr. 17). Existuje názor, že kvůli absenci olova je schopnost tečení těchto pájek snížena. Nízká schopnost rozliti má vliv nejen na desku a pájenou součástku, nýbrž i na pájecí hrot. Navíc bylo zjištěno, že ani v případě vyšší pájecí teploty se schopnost rozliti pájky nijak významně nezlepší.

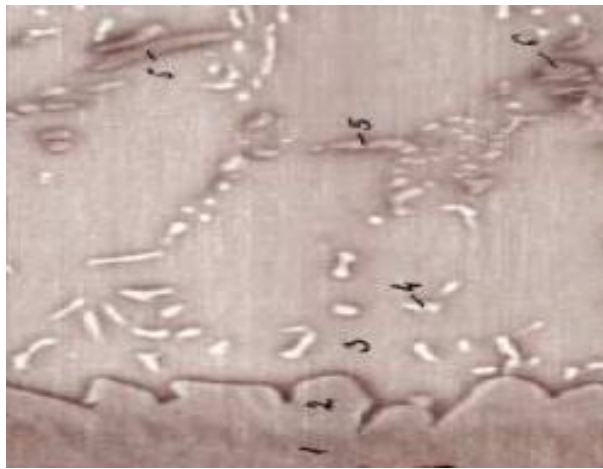
Bod tavení bezolovnatých pájek je o 20 až 45 °C vyšší, než bod tavení konvenčních olovnatých eutektických pájek. Teplota pájecího hrotu by proto měla být nastavena na vyšší hodnotu. Zpravidla se má za to, že teplota přibližně o 50 °C vyšší než bod tavení pájky je žádoucí jako

²⁰1. července 2006 vyšly v platnost direktivy:

RoHS – (Restriction of the use of Hazardous Substances) je direktiva zakazující použití nebezpečných látek v elektrických a elektronických výrobcích

WEEE – (Waste of Electrical and Electronic Equipment) - direktiva o odpadech elektrických a elektronických zařízení

pájecí teplota. Na druhé straně, teplota pájecího hrotu se zpravidla nastavuje asi o 100 °C výše, než je pájecí teplota, a tudíž se mění v závislosti na tepelné jímavosti pájeného obrobku a na hmotnosti pájecího hrotu. Při použití olovnatých eutektických pájek je nastavená teplota asi 340 °C, zatímco při použití pájek Sn-0.7Cu je to asi 380 °C. Teplota 350 °C a více znamená téměř teplotní limit pro pájecí operaci, neboť znamená silné poškození pájecího hrotu. Protože je překročen teplotní rozsah, při němž dochází k aktivování tavidla, tavidlo je karbonizováno a jeho aktivační účinek klesá. Takto vysoké teploty navíc mohou způsobit rozptýlení tavidla i pájky.



Obr. 17. Základní struktura spoje při pájení bez olova

4.2 Slitiny – možné náhrady olova

- Základní kov:
 - **Cín (Sn)**
- Doplnující kovy:
 - **Stříbro (Ag):** Snížení bodu tavení, lepší smáčení, zlepšení pevnosti spoje
 - **Bismut (Bi):** Snížení bodu tavení, lepší smáčení
 - **Med (Cu):** Zlepšení pevnosti spoje
 - **Zinek (Zn):** Nízká teplota tání, nízká cena
 - **Antimon (Sb):** Zlepšení pevnosti spoje, snížení povrchového napětí pro zlepšení rozlévání a prevenci nadzvedání součástek (tombstoning)

- **Indium (In):** Snížení bodu tavení
- **Nikl (Ni) :** Prevence odsmáčení
- **Germanium (Ge) :** Prevence oxidace

Vždy bylo zřejmé, že základním kovem bezolovnaté pájecí slitiny musí být cín (Sn) vzhledem k jeho nezávadnosti, metalickým vlastnostem, světovým zásobám, ceně, atd... Prvky, které se kombinují s cínem, přičemž hlavním cílem je dosažení bodu tavení konvenční pájecí slitiny Sn/Pb 183 ° C budou stříbro (Ag), měď (Cu), zinek (Zn), bizmut (Bi), antimon (Sb), atd. Protože pomocí kombinace pouze dvou kovů nemůžeme dosáhnout požadovaných vlastností, je nutná vyvinout kombinaci 3 nebo 4 kovů (Tab. 4). Slitiny na bázi Sn-Ag, které mají nejspolehlivější metalické vlastnosti, se dělí na tři typy podle obsahu třetího kovu, Bismuth (Bi), který pomáhá snižovat bod tavení celé slitiny.

| Slitina | Povrchová úprava | | | |
|-------------------------|------------------|---------|--------|------------|
| | SnAg | NiAu | SnZn | OSP |
| Sn-Ag | výborná | výborná | špatná | uspokojivá |
| Sn-Cu | uspokojivá | výborná | špatná | uspokojivá |
| Sn-Ag-Cu | výborná | výborná | špatná | uspokojivá |
| Sn-Ag-Cu-Bi | výborná | dobrá | špatná | uspokojivá |
| Sn-Zn-Bi | uspokojivá | dobrá | dobrá | špatná |
| Sn-Ag-Cu-Sb (CASTIN) | výborná | výborná | špatná | uspokojivá |

Tab. 4. Kompatibilita mezi jednotlivými slitinami a povrchovými úpravami

Pájecí slitina: vzhledem k tomu, že spolehlivost pájeného spoje má největší prioritu a s přihlédnutím k dočasnému používání bezolovnaté a klasické technologie zároveň, je

nejvhodnější začít nejdřív používat slitinu SnAgCu pro bezolovnaté pájení. Vybírají se pájecí pasty s vysokou aktivační schopností.

Elektrické součástky: vybírají se součástky s co nejvyšší tepelnou odolností. Před zavedením každé součástky se ověřuje její povrchová úprava. Nejdříve je nutno ověřit, zda použité součástky jsou i ve verzi bez olova.

Pájecí zařízení: protože bezolovnaté pájení vyžaduje vyšší teploty, ověřuje se, zda současné vybavení je schopné pracovat při těchto teplotách. Někdy je nutné zavést technologii pájení v ochranné atmosféře.

4.3 Pájení v ochranné atmosféře

V průběhu klasického pájení je teplota v peci vysoká a ve vzduchu je obsažen kyslík, což vede k rychlejší oxidaci kovových povrchů, než při normálních podmínkách. K odstranění tohoto jevu ještě před provedením samotného pájecího procesu se běžně používají tavidla obsažená v pastě. Ty však mohou negativně ovlivnit následnou spolehlivost a životnost spoje.

Z důvodů požadavku omezení, nebo dokonce vyloučení použití tavidel při pájení se hledaly další možnosti, jak zabránit vzniku oxidů v pájeném spoji. Ze samotné podstaty oxidace je zřejmé, že jednou z cest je zamezení přístupu kyslíku do prostoru pájení vytvořením ochranné atmosféry, například dusíku (N₂). Čím nižší bude objem kyslíku uvnitř pece, tím více bude redukována i oxidace kovů. Z toho je patrné, že bude-li objem zbytku kyslíku nízký, bude také možné použít pasty s nižším objemem tavidla, což je jeden z hlavních důvodů pro použití této metody. Mimo toho tím také získáme výrazně lepší smáčivost pájených povrchů v důsledku dosažení vyššího povrchového napětí a tím budou také vytvořeny předpoklady pro dosažení vyšší jakosti pájených spojů.

Dalšími důvody pro použití ochranné atmosféry jsou také stále přísnější předpisy týkající se ochrany životního prostředí, rostoucí požadavky na jakost, a také připravenost pro pájení nových typů stále menších součástek.

Hlavní výhody:

- Redukce použití tavidel (aspekt ochrany životního prostředí)

- Větší flexibilita procesu – umožňuje zvětšení procesního okna
- Lze pájet přímo na povrch Cu a další typy nepocínovaných povrchů
- Definovanější a vzhlednější pájené spoje (z kosmetického pohledu)
- Lepší smáčivost součástek
- Nižší pravděpodobnost opálení desky a také zbytků tavidla
- Omezení tvoření zkratů a nezapájených (studených) spojů

Nevýhody:

- Vyšší pořizovací cena
- Vyšší provozní náklady (způsobené stálou spotřebou plynu)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PÁJECÍ PECE

Reflow pec je zařízení primárně určené pro montáž elektronických součástek na DPS metodou pájení přetavením. Tyto pece můžeme rozdělit na dávkové (Obr. 18) a průběžné (Obr. 19), přičemž častěji se setkáváme s pecí průběžnou.



Obr. 18. Dávková přetavovací pec FT02



Obr. 19. Průběžná přetavovací pec FC220

Pece pro pájení přetavením prochází neustálým vývojem spočívajícím nejen v systému urychleného proudění, ale i v dalších konstrukčních zlepšeních, které zahrnují především:

- zvětšení počtu přetavovacích zón a změnu v konfiguraci těchto zón

- redukcí celkové délky pece
- zlepšené možnosti centrování desky

Požadavky na reflow pece:

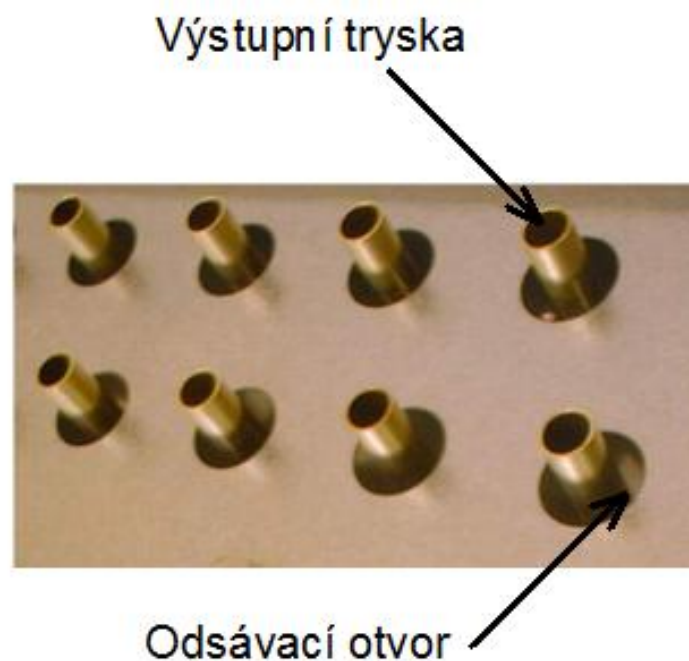
- moduly pro předehřev a přetavení musí být schopny dosáhnout vyšších teplot a musí mít velmi přesnou regulaci
- těsnění, ložiska i maziva musí odolávat teplotám okolo 300° C
- Nutná lepší tepelná izolace pece
- Teplotní zóny musí mít rozdílnou délku a musí být samostatně nastavitelné (kvůli zachování nízkých gradientů teploty)
- Možnost použití dusíkové atmosféry
- Pro homogenní ohřev nejlépe plně konvekční pece

SYSTÉM OHŘEVU

- IR zářiče
 - problém s homogenitou ohřevu díky rozdílné absorpci IR různými barvami a materiály
 - vhodné spíše pro spodní předehřev
- horkovzdušná konvekce
 - stěžejní je způsob přívodu a odvodu horkého vzduchu
 - je nutné zabránit příčnému proudění a ovlivňování sousedních teplotních zón
 - vhodné pro spodní i horní předehřev a přetavovací zóny
 - jeden z nejlepších systémů horkovzdušné konvekce jsou topné kazety MULTIJET firmy ERSA (Obr. 20, Obr. 21)



Obr. 20. Topné kazety



Obr. 21. Topné kazety ERSA MULTIJET - detail

5.1 Konvekční pece

Konvekční pece se používají jak s přirozenou, tak i s nucenou konvekcí. Preferují se konvekční pece s nucenou konvekcí. Potřebná energie se pro přetavení pájecí pasty získává průchodem ohřátého plynu (dusík, vzduch, vodík) pájecím prostorem po jedné, zpravidla však po obou stranách montážní a propojovací sestavy. Zařízení jsou většinou konstruována jako průběžná s pohyblivým dopravníkem prstovým nebo pásovým. Konvekční přetavovací pece mívají minimálně 4 nezávisle regulovatelné teplotní zóny. Horký plyn se může pomocí

trysek usměrnit na předem stanovená místa desky plošného spoje, čímž se dosáhne směrového i rychlejšího ohřevu součástek na DPS. Kromě směru proudění horkého vzduchu lze měnit i průtok horkého vzduchu. Snažíme se vyhnout horizontálnímu proudění, aby nevznikaly hraniční vrstvy a proudění šikmému, aby nedocházelo k posunutí součástek.

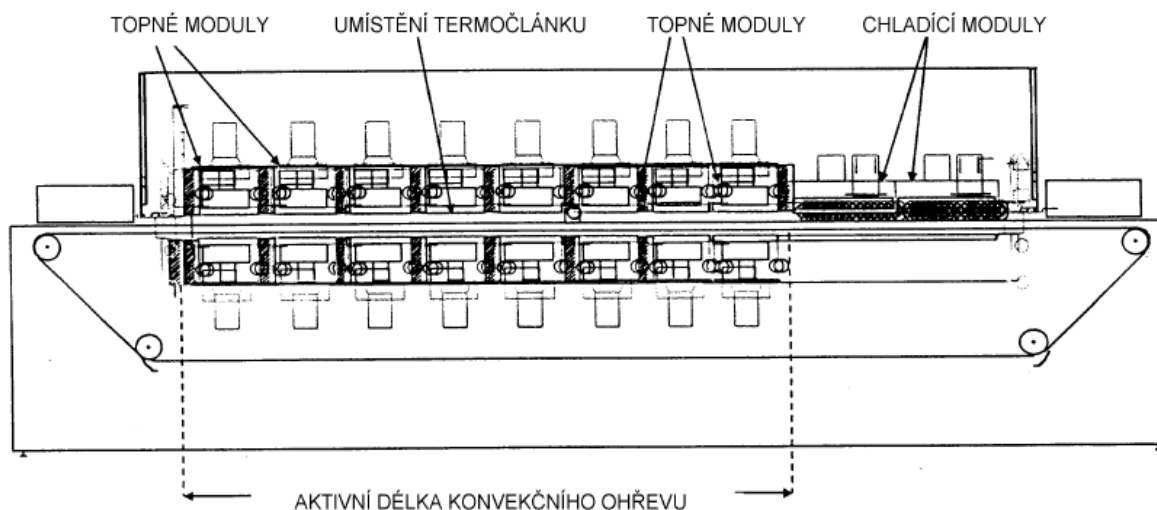
Pájení může probíhat i v ochranné dusíkové atmosféře, což vede ke zvýšení kvality pájení. Maximální dovolené znečištění kyslíkem se pohybuje kolem 10 ppm.

Výhody:

Konvekční pece více vyhovují požadavkům DPS a vyšších zástavbových hustot a vyznačují se menším zastíněním jednotlivých součástek. Tento způsob pájení umožňuje jednodušší nastavení pájecího profilu pouhou změnou rychlosti posuvu dopravníku, pece mívají velmi malý příčný teplotní gradient ($+2^{\circ}\text{C}$). Preferují se pro pájení pouzder BGA.

Nevýhody:

Menší účinnost (20 až 30%), větší energetická spotřeba, vyšší míra oxidace pájecí pasty při pájení ve vzduchu. Schematicky je konvekční reflow pec znázorněna na Obr. 22.



Obr. 22. Schematické znázornění konvekční reflow pece

5.2 Infračervené pece

Pájení probíhá zpravidla v průběžných infračervených pecích, kde jsou zářiče nad i pod dopravníkovým pásem. Zářiče jsou umístěny v jednotlivých sekcích, tzv. zónách. Požadovaný teplotní profil se nastavuje zpravidla mikroprocesorovým systémem s nastavením teploty jednotlivých zón a rychlostí pohybu dopravníku. Pro prototypovou/malosériovou produkci se používají i vsázkové pece, kde je DPS upevněna v rámečku a požadovaný teplotní profil se nastavuje časovým průběhem teploty. Teplotní profily pro pájení ev. vytvrzování SMD celků jsou rozdílné, závisí jak na typech pájecí pasty, na zástavbové hustotě, typu montážní a propojovací struktury i sestavy, velikosti DPS aj. Pro vytvrzení lepidla jsou někdy IR pece vybaveny doplňkovým UV modulem.

IR pájecí pec kompatibilní s bezolovnatým procesem (Obr. 23) pro plošné spoje do velikosti 280 x 280 mm, využívá záření v oblasti FIR 15-1000 μm . IR záření slouží k zahřátí a přetavení pájecí slitiny za účelem vytvoření pájených spojů. Nanesením pájecí pasty a součástek na DPS se pájené spoje vytvoří zahřátím sestavy vlivem tepelné energie záření, dopadající na bod pájení a jeho okolí. Teplota musí dosáhnout bodu tavení pájecí směsi.



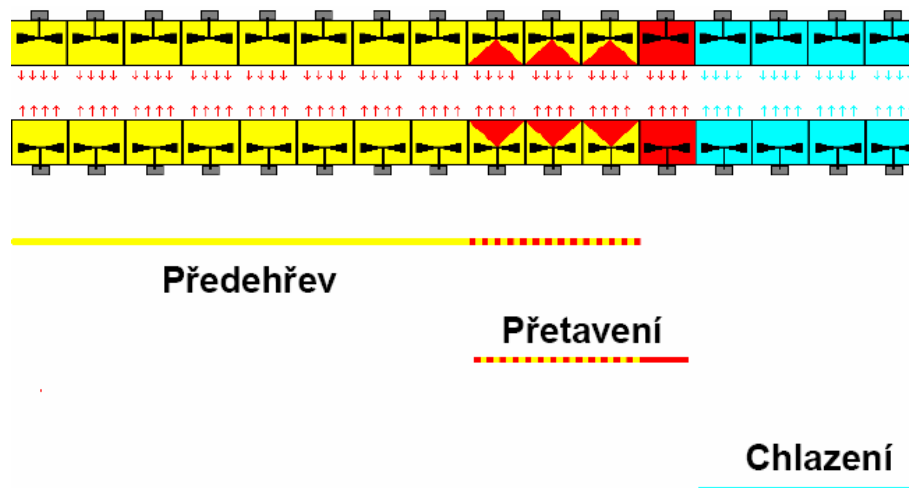
Obr. 23. IR bezolovnatá pájecí pec

5.3 In-line pece

- dražší

- rychlejší
- přesnější
- náročnější na prostor
- vhodné pro střední a velké série

Větší počet teplotních zón dává pecím lepší šanci na homogenní ohřev, nízké teplotní gradienty a rozdíly teplot. Jednotlivé zóny musí být samostatně nastavitelné a dobře separované, aby nedocházelo k jejich vzájemnému ovlivňování. Systémy ohřevu/chlazení by měly být oboustranné (horní i spodní) a příčný rozdíl teplot co nejmenší (Obr. 24)



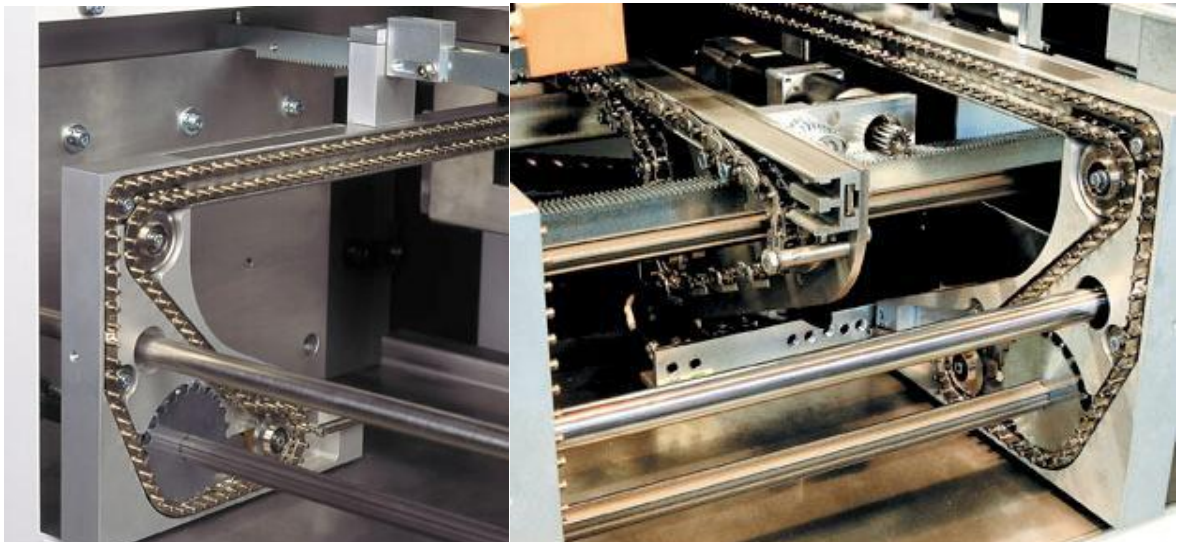
Obr. 24. Konfigurace teplotních zón u ERSA Hotflow 2/24

5.4 Ovládání a regulace

- větší pece mají vždy počítačový systém, jenž může sloužit pro:
 - generaci návrhu teplotního profilu, jeho simulaci a analýzu
 - automatické nastavení a regulaci pece během pájecího procesu
 - vedení a vyhodnocování databáze závad se zpětnou vazbou pro optimalizaci pozdějších profilů

5.5 Transport a uchycení DPS

- pásy
 - pouze pro jednostranné DPS
- řetězové dopravníky (Obr. 25)
 - nastavitelná šířka
 - podpůrný středový systém
 - přesná regulace pohybu a rychlosti
 - propojitelnost s ostatními transportními systémy výrobní linky



Obr. 25. Transportní systém pece ERSA Hotflow 2/24

5.6 Pece pro přetavení bezolvnatých pájek

Pece konstruované pro přetavení bezolvnatých pájek (Obr. 26) jsou typické vícesektorovou přetavovací zónou, přičemž délka jednotlivých zón se zkracuje. Tato nová konfigurace přináší lepší kontrolu procesu. Moderní výrobní pece mají předehřivací, přetavovací i chladicí zónu, jejichž celková délka je kolem 350 cm, a to při stejné propustnosti jakou mají obvyklé pece délky 400 cm a více.

Centrování desky spočívá v reagování na vliv vyšších teplot na pájené desce. Vzroste-li totiž teplota nad 150 °C, vstupuje pájená deska do tzv. fáze skelného přechodu, což vyvolává prohnutí desky. Vyšší teplota zvyšuje míru prohnutí a také nebezpečí trvalé deformace

desky. To je kritické právě při přetavení první osazené strany u oboustranně osazených desek, protože následné osazování druhé strany prohnuté desky by bylo obtížné. Nejnovější řešení podpory centrování desky zahrnují tento mechanismus jen v těch sekcích pece, kde je to vyžadováno, tj. v sekci přetavení a chlazení.

Navíc přetavovací pece využívající dusík vyžadují oddělení sběru tavidla za účelem jeho odstranění z pece. Se zaváděním norem řady ISO 14000 je vyžadován podobný systém i pro technologii přetavení bez ochranné atmosféry. A to za účelem zamezení úniku těkavých látek do ovzduší. Automaticky systém zajišťující odstranění tavidla rovněž slouží k uchování vnitřní čistoty pece a minimalizaci přerušení výroby za účelem údržby pece.

V průběhu klasického pájení je teplota v peci vysoká a ve vzduchu je obsažen kyslík, což vede k rychlejší oxidaci kovových povrchů, než při normálních podmínkách.

Čím nižší bude objem kyslíku uvnitř pece, tím více bude redukována i oxidace kovů.



Obr. 26. Přetavovací pec pro bezolovnaté pájení

6 PORUCHY PROCESU

V procesu pájení působí celá řada faktorů, jež mohou jakost pájeného spoje ovlivnit.

Dosažení jakostního spoje vyžaduje optimální nastavení těchto faktorů, což je záležitostí procesní a materiálové kompatibility.

Přehled poruch procesu:

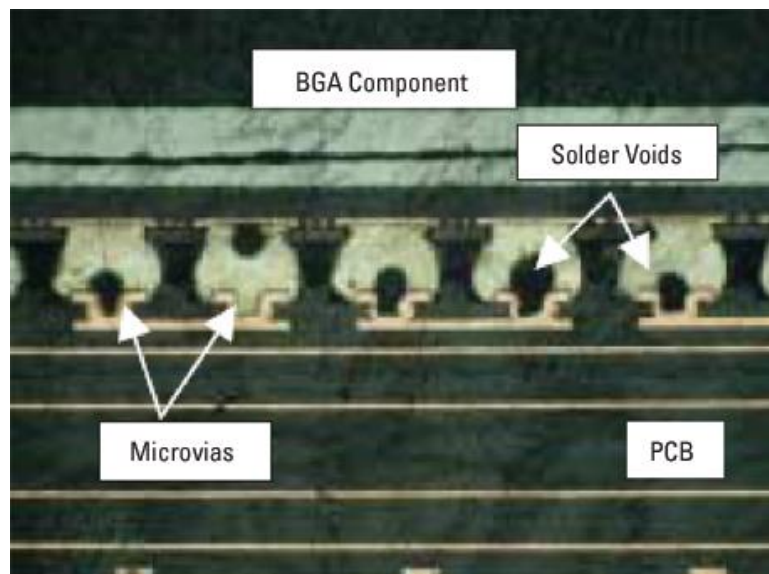
- konstrukční vady
 - volba součástky -typ pouzdra, povrchové úpravy vývodu, rozdílu mezi průměrem velikosti otvoru a průměrem vývodu.
 - návrh DPS -pájecích plošek a otvorů, vodičů, izolační vzdálenosti
- vady z technologické přípravy výroby
 - součástky, DPS -pájitelnost, nečistoty, skladování, kvalita pokovení
 - projevy dílčích degradačních mechanismů: chemická koroze, difúze v tuhých látkách, vznik intermetalických sloučenin, degradace polovodičových součástek
 - materiály pro pájení -nevhodný typ tavidla, pájecí pasty, nekompatibilní povrchy pájených kovů a pájky. Nečistoty v pájce.
- výrobní vady způsobené nesprávným procesem pájení
 - odsmáčení a nesmáčení (dewetting a nonwetting)
 - nedostatek pájky (solder voids)/přebytek pájky (excess solder)
 - můstky a pavučiny (bridging a webbing), krápníky (icicles)
 - dírky v pájených spojích (blow holes)
 - studený a prasklý spoj (cold and cracked joint)
 - matný a zrnitý spoj (dull and grainy)
 - skvrny na povrchu pájky (stains)

- opravárenské vady
 - nevhodná technika opravy, nesprávná volba materiálu
- provozní vady
 - zvětšování odporu propojení, snižování izolačního odporu

Nepřijatelný pájený spoj:

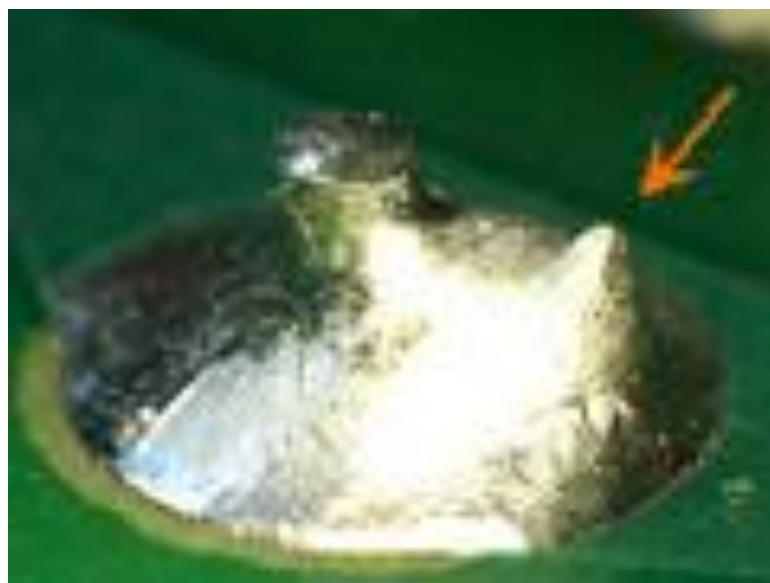
- nezapájený nebo neúplně zapájený vývod
 - nedostatek pájky v otvoru
 - pájecí mezikruží není pokryto pájkou
 - neúplný pájený spoj kolem vývodu (méně než 270°)
- vývod není vidět
 - kapkovitý spoj
 - vysoký kužel
 - můstek mezi pájecími kužely
- krátery v pájecím kuželu i v pájce zapájeného pokoveného otvoru
 - větší kráter v kuželu nebo více jak 2 malé
 - plynová bublina, resp. kráter ve spoji
 - prasklina v kuželu
- zrnitý pájený spoj v okolí vývodu
- přítomnost cizího materiálu ve spoji
 - rezidua tavidla v okolí pájeného spoje
 - rezidua pájky v okolí pájeného spoje, která redukují vzdálenosti mezi vodiči
 - izolace z vodiče kontaminuje pájený spoj
- odhalený základní kov
 - zastřížený konec vývodu pokud je vývod na bázi železa
 - poškozená/odhalená měď na plošném vodiči nebo pájecím mezikruží na DPS

- odhalený základní kov na vývodu součástky, pokud se nejedná o konec vývodu

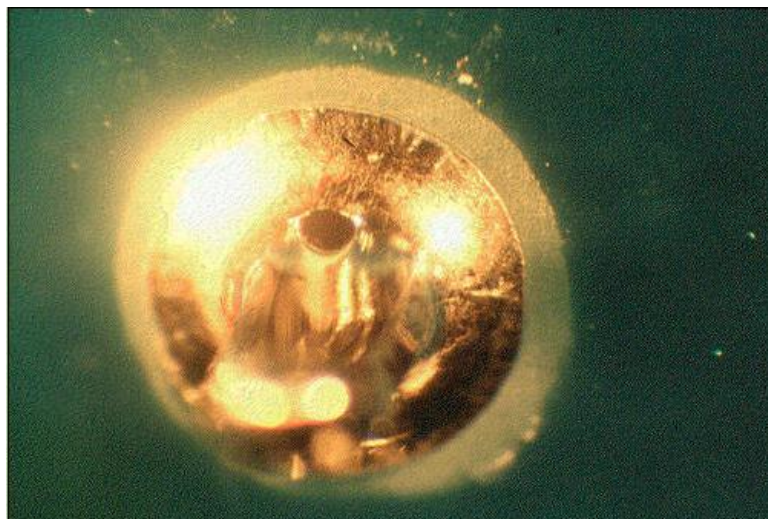


Obr. 27. Vznik dutin

možná příčina: nedostatek pájky



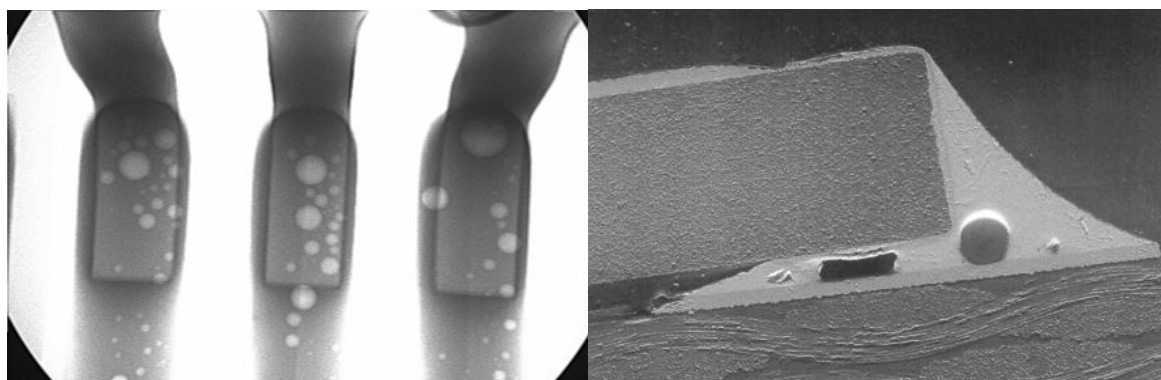
Obr. 28. Vyčnívající krápník



Obr. 29. Dírky ve spoji



Obr. 30. Prasklý pájený spoj

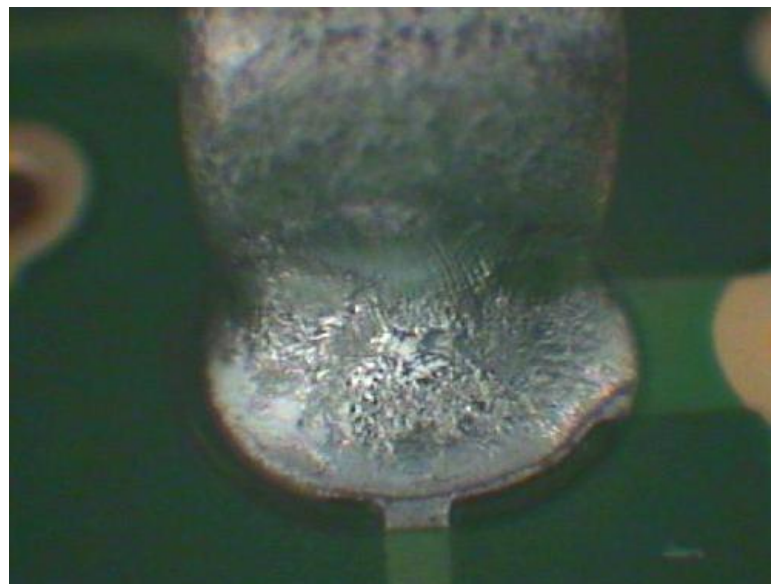


Obr. 31. Dutiny uvnitř pájených spojů



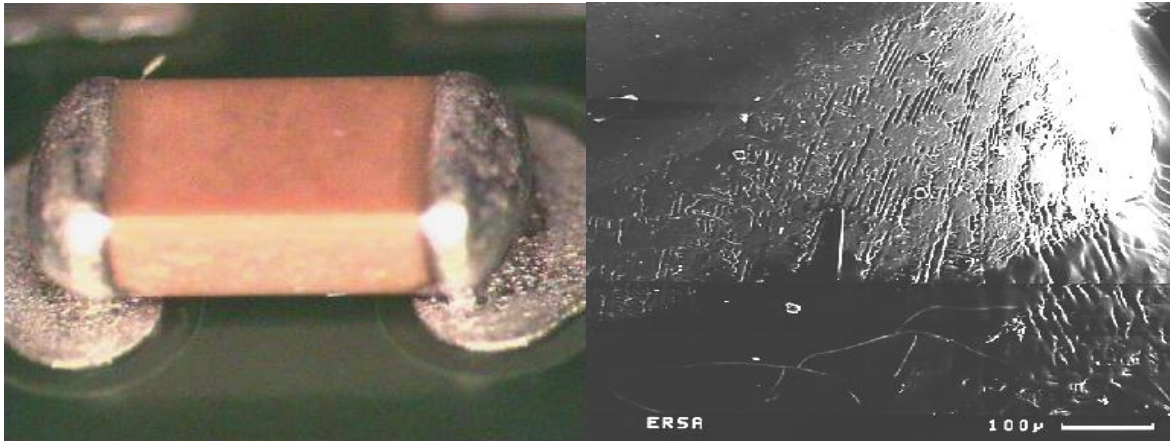
Obr. 32. Stárnutí pájeného spoje

možná příčina: vliv cyklického namáhání z teplotních dilatací



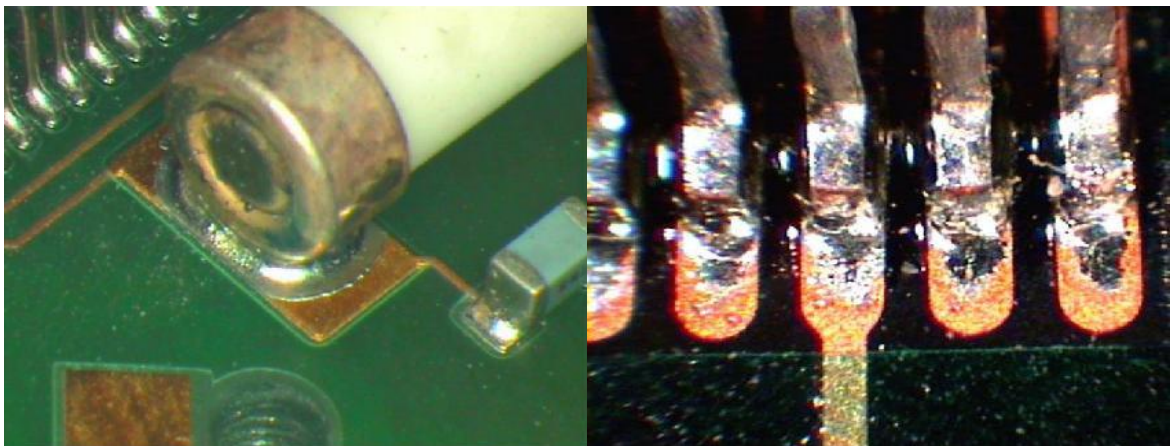
Obr. 33. Menší lesklost spoje

možná příčina: použití bezolovnatého pájení

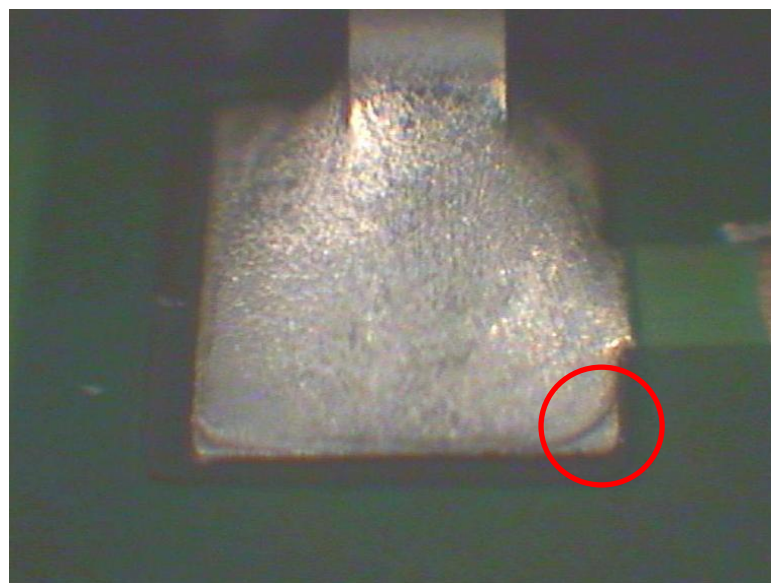


Obr. 34. Více zrnitý povrch

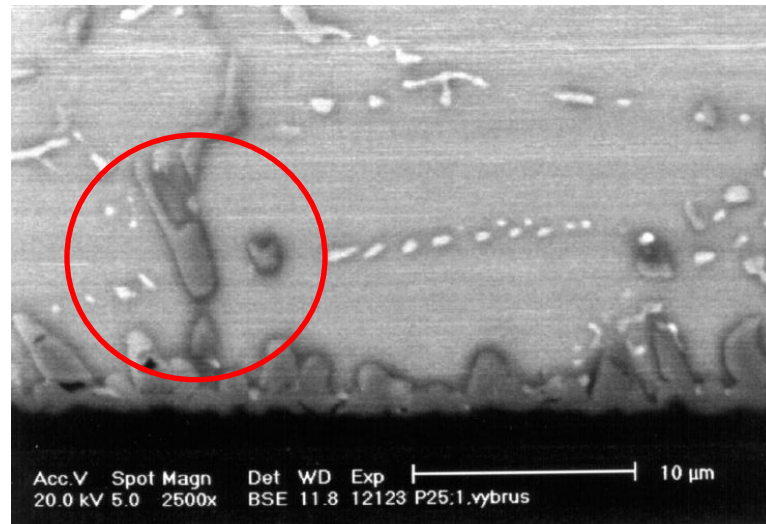
možná příčina: větší tuhost primárních dendritů v bezolovnatých pájkách



Obr. 35. Špatné smáčení a typické tečení

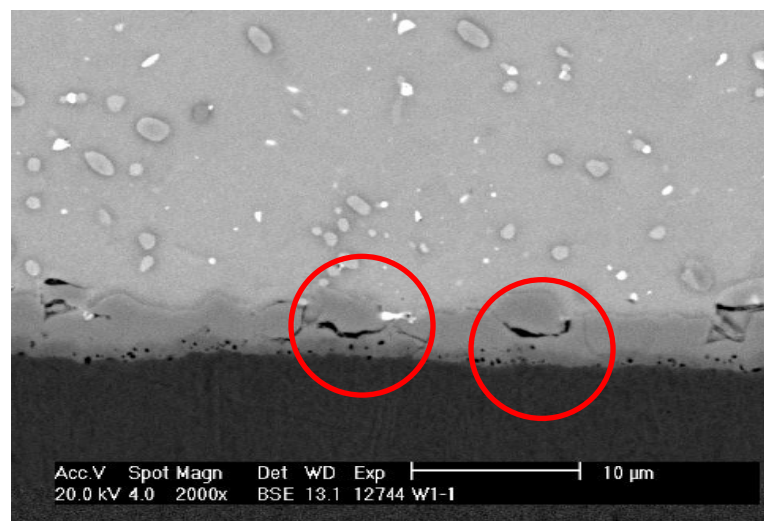


Obr. 36. Nesmočené rohy pájecí plošky



Obr. 37. Hrubá struktura – jehlicové krystaly - nepříznivé z hlediska únavové pevnosti

možná příčina: dlouhé chlazení

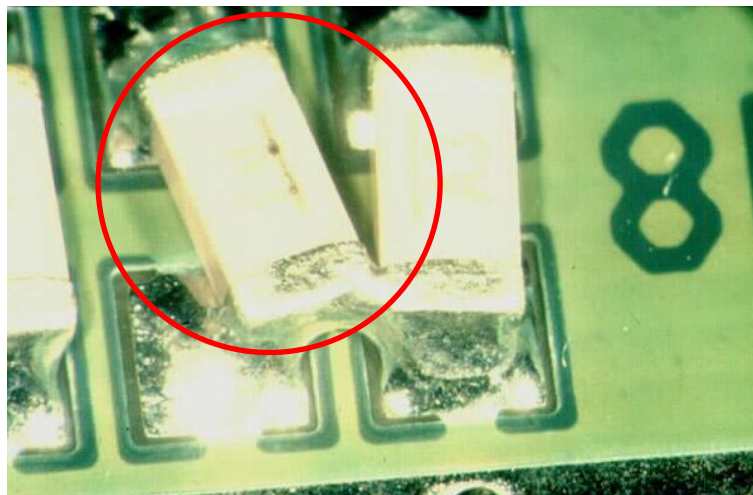


Obr. 38. Mikrotrhliny podkritické velikosti



Obr. 39. Šířící se trhlina

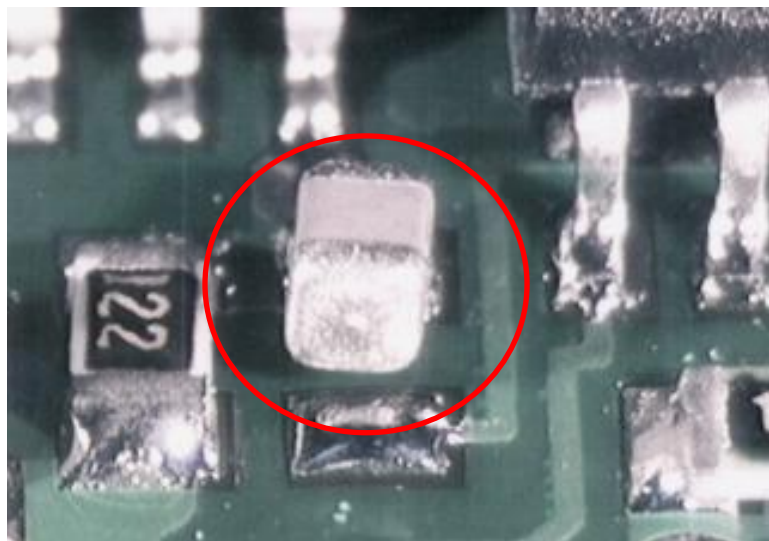
možná příčina: vnitřní pnutí



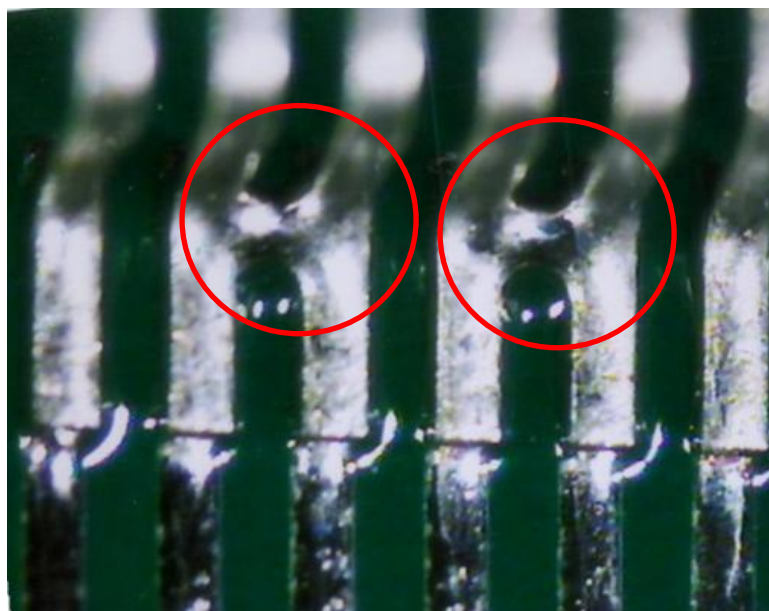
Obr. 40. Posuv součástky

možná příčina: špatné umístění součástky na DPS

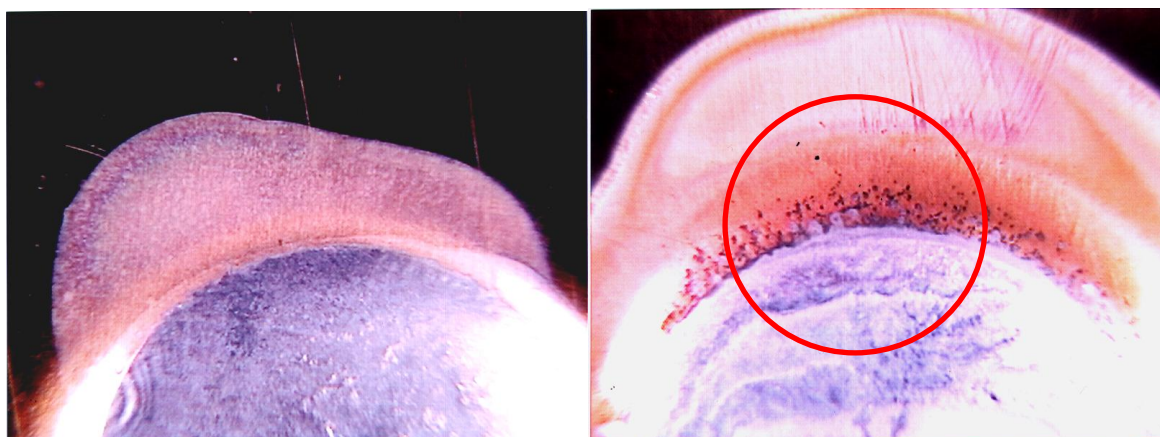
pohyb během reflow procesu



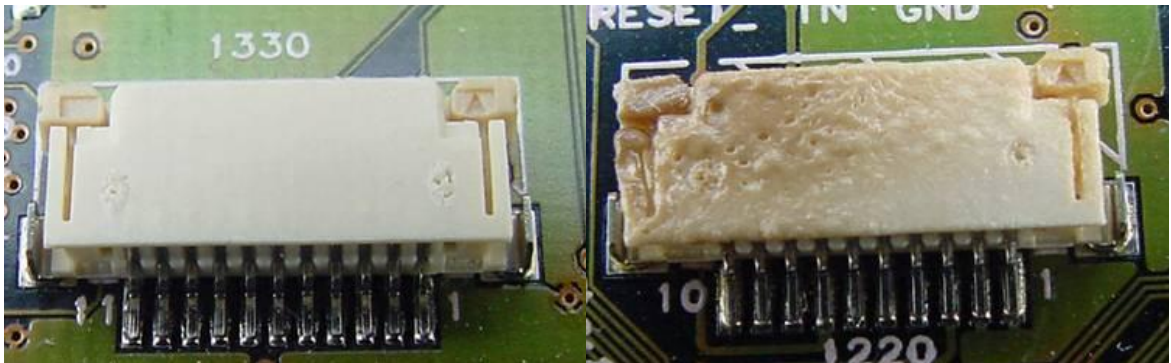
Obr. 41. Tombstoning (Manhattan) efekt



Obr. 42. Pájkové můstky (zkraty)

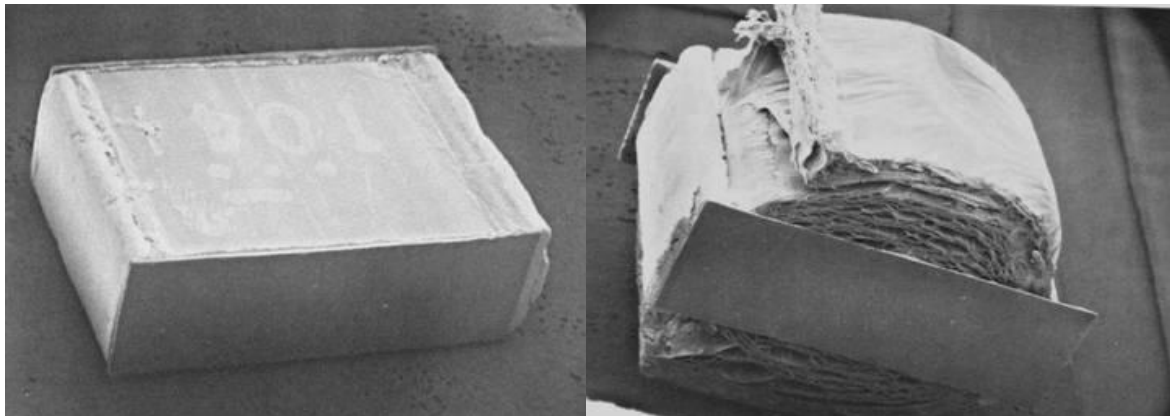


Obr. 43. Bez koroze / s korozí s černými skvrnami



Obr. 44. Zničení termoplastického pouzdra součástky – 270°C

možná příčina: vysoké procesní teploty

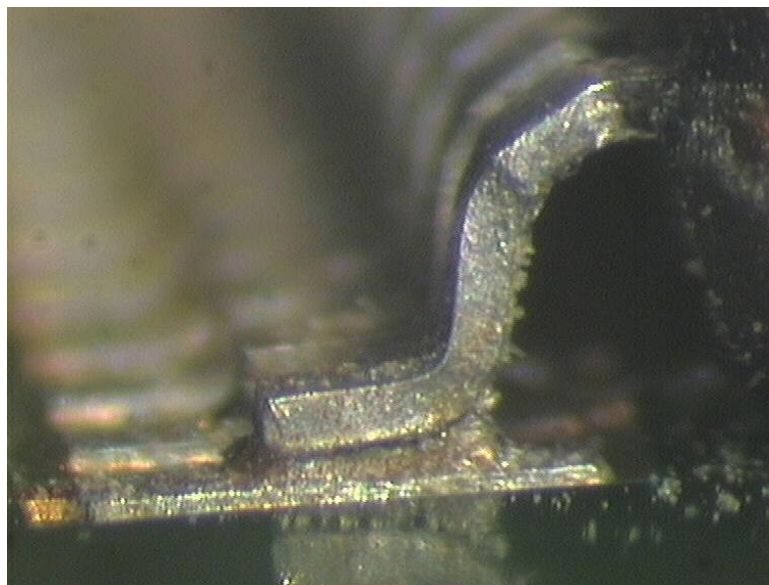


Obr. 45. Zničení součástky

možná příčina: vysoké procesní teploty

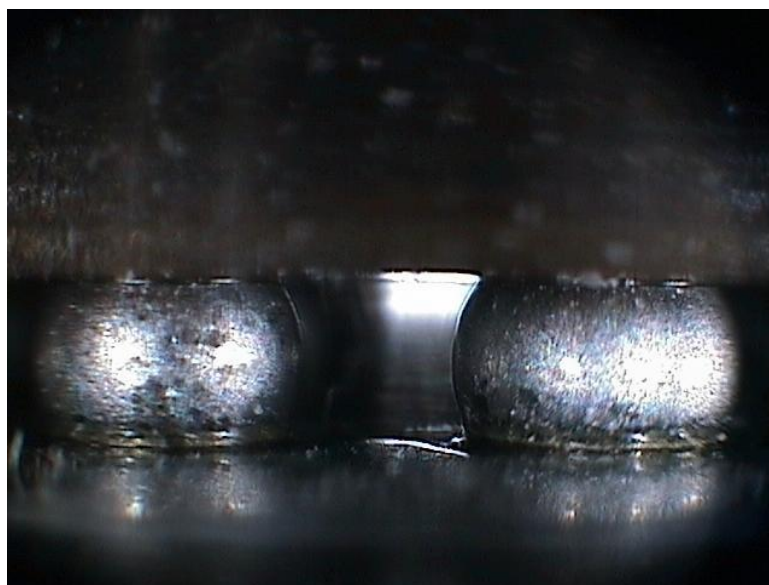


Obr. 46. Koncentrace napětí

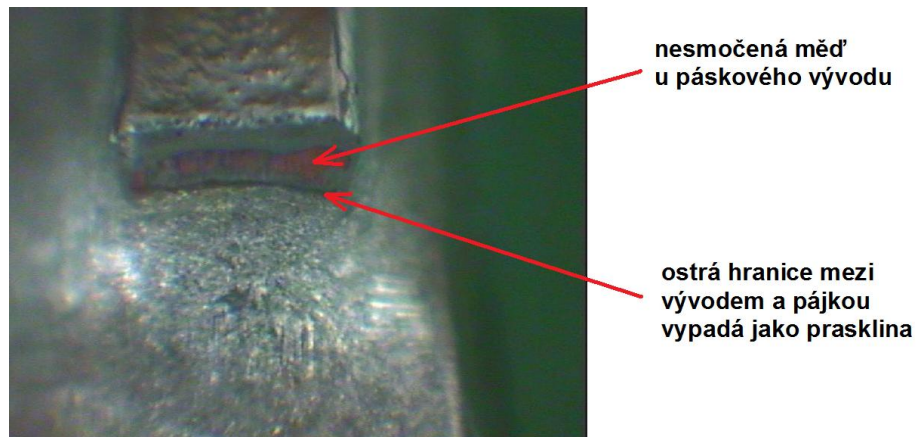


Obr. 47. Trhlina po teplotním cyklu

možná příčina: špatně řízená povrchová úprava



Obr. 48. Snížené smáčení na povrchu pájecí plošky



Obr. 49. Špatná smáčivost vývodů součástek



Obr. 50. Pokroucené desky a vypouklé součástky

možná příčina: vysoká teplota

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo podat celkový přehled o technologii pájení přetavením. Tato metoda je velmi rozsáhlá a neustále v ní dochází k novým poznatkům a novým způsobům. Bohužel českých podkladů na danou problematiku je stále ještě málo, a proto bylo záměrem práce tyto materiály shromáždit do přehledné příručky a poskytnout alespoň částečný nástin této technologie.

Teoretická část bakalářské práce nás nejprve zavádí do dob dávno minulých a zjišťujeme, že už tehdy bylo pájení nedílnou součástí běžného života. Práce si také klade za úkol osvětlit tuto problematiku obecně, což je velmi důležité pro správné pochopení daného tématu. Seznamuje nás s funkcí tavidla, které je pro technologii pájením nezbytné k dosažení kvalitnějšího spoje. Pro spolehlivý spoj je také důležitý termín pájitelnost, který určuje schopnost povrchu být smáčen pájkou. Spoj je tím kvalitnější, čím lepší je jeho smáčivost. Práce dále pojednává o přímém postupu SMT, popisující jej od nanesení pájecí pasty, přes osazení součástek na desku, samotné přetavení pasty, až po závěrečné procesy jako je odstranění můstků a způsob čištění.

S ohledem na nedávno vydanou směrnici o vyloučení olova se metoda nyní více soustřeďuje na zavádění pájení bezolovnatého. Existuje velké množství případných náhražek olova, přičemž stanovení nejlepšího možného zastoupení není zcela jednoznačné a závisí také na tom, na co klademe při konkrétním typu pájení největší důraz.

Praktická část práce poukazuje na zařízení používané pro technologii pájení přetavením a dále na to, že pokud nebudeme dodržovat stanovené podmínky pájení, uvedené v části teoretické, je velká pravděpodobnost, že dojde k nevratným poruchám tohoto procesu. Zde si rovněž můžeme prohlédnout jevy, kterým je možno správným postupem předcházet.

Zhledem k tomu, že tato technologie sahá do dávných let, a neustále přichází s novými poznatky a rozšířením do mnoha jiných oborů, lze konstatovat, že je stále co vyvíjet a zlepšovat a nepochybně o této technologii ještě mnoho uslyšíme.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this thesis was to give an overview of reflow soldering technology. This method is very large and it is continually to new knowledge and new ways. Unfortunately, Czech work on the issue is still low, and therefore the intention of these materials work together to guide and arranged to provide at least a partial outline of technology. Theoretical part first introduces us to the distant past, and we find that even then was soldering an integral part of everyday life. Labour also has the task to illuminate these issues in general, which is very important for proper understanding of the topic. Acquaints us with the flux function, which is soldered to the technology necessary to achieve a better connection. For reliable connection is also an important term solderability, which determines the ability of the surface to be wetted with solder. Link is the better, the better its wettability. The author discusses the direct process of SMT, describing it from applying solder paste through mounting of components on the motherboard itself remelting paste until after the final removal processes such as bridges, and cleaning mode. With regard to the recently published Directive on the elimination of lead, the method is now more focused on the introduction of lead-free soldering. There are a large number of potential substitutes for lead, while setting the best possible representation is not entirely clear, and also depends on what we pay for a particular type of soldering the greatest emphasis.

The practical part of the work refers to equipment used for reflow soldering technology and that if we do not observe the conditions soldering, listed in the theoretical part, is a high probability that an irreversible disruption of this process. You can also view the events, which can prevent proper procedure. Even that this technology goes back to the early years, and constantly comes up with new developments and expanding into many other fields, we can say that it is still possible to develop and improve, and certainly on this technology still hear a lot.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ruža, V.: *Pájení*. Nakladatelství technické literatury, n. p., Praha 1988
- [2] Abel, M.: *SMT – Technologie povrchové montáže*. Nakladatelství Platan, 2000
- [3] Hluchý, M., Kolouch, J., Paňák, R.: *Strojírenská technologie 2 - 1. díl, Polotovary a jejich technologičnost*. Nakladatelství Scientia, Praha 2001, ISBN 80-7183-244-8
- [4] Starý, J., Šandera, J., Kahle, P.: *Plošné spoje a povrchová montáž*. Vydavatelství VUT v Brně, 2005
- [5] www.telefon.unas.cz
- [6] www.martin.feld.cvut.cz
- [7] www.minda.wz.cz
- [8] www.hakko.cz
- [9] www.sous.cz
- [20] www.semach.cz
- [13] www.umel.feec.vutbr.cz
- [12] www.elweb.cz
- [13] www.msvelektronika.cz
- [14] www.ok2imh.com
- [15] www.modding.cz
- [16] www.efd-inc.com
- [17] www.mesit1e.unas.cz
- [18] www.micer.wz.cz
- [19] www.koki.org
- [20] www.ketsrv.fel.zcu.cz
- [21] www.kicthermal.com
- [22] www.altera.com

[23] www.latticesemi.com

[24] www.abetec.cz

[25] www.unlock.cz

[26] www.ketsrv.fel.zcu.cz

[27] www.printed.cz

[28] www.marpos.cz

[29] www.globalsmt.net

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-----|---|
| SMT | Technologie povrchové montáže. |
| DPS | Desky plošných spojů. |
| PAD | Pájecí ploška. |
| IO | Integrovaný obvod. |
| SMD | Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů. |
| IR | Infračervené záření. |
| BGA | Typ pouzdra integrovaného obvodu pro povrchovou montáž. |
| PAD | Podložka. |
| IO | Integrovaný obvod. |
| SPC | Statická kontrola procesu |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1. Kovy, které je možno pájet..... | 12 |
| Obr. 2. Schéma složení tavidel..... | 13 |
| Obr. 3. Úrovně smáčivosti..... | 15 |
| Obr. 4. Průběh tvorby spoje..... | 17 |
| Obr. 5. Schéma kondenzačního pájení v parách..... | 24 |
| Obr. 6. Pájení BGA součástek..... | 26 |
| Obr. 7. Vliv použití vakua..... | 27 |
| Obr. 8. Pájení laserem..... | 28 |
| Obr. 9. Běžný typ ručního pájedla. A) napájecí zdroj, B) stojánek na pájedlo, C) pájedlo – pájecí hrot v rukojeti..... | 30 |
| Obr. 10. Způsoby nanášení pájecí pasty. A) tlakový, B) s využitím rotační pumpy..... | 30 |
| Obr. 11. Osazení součástek do nanesené pasty..... | 32 |
| Obr. 12. Pájecí pasta po nanesení a po přetavení..... | 34 |
| Obr. 13. Složení pájecí pasty..... | 37 |
| Obr. 14. Nanášení pájecí pasty..... | 38 |
| Obr. 15. Průběh teplotního profilu..... | 39 |
| Obr. 16. Popis průběhu teplotního profilu reflow pájení..... | 42 |
| Obr. 17. Základní struktura spoje při pájení bez olova..... | 46 |
| Obr. 18. Dávková přetavovací pec FT02..... | 51 |
| Obr. 19. Průběžná přetavovací pec FC220..... | 51 |
| Obr. 20. Topné kazety..... | 53 |
| Obr. 21. Topné kazety ERSA MULTIJET - detail..... | 53 |
| Obr. 22. Schematické znázornění konvekční reflow pece..... | 54 |
| Obr. 23. IR bezolovnatá pájecí pec..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Obr. 24. Konfigurace teplotních zón u ERSA Hotflow 2/24..... | 56 |
| Obr. 25. Transportní systém pece ERSA Hotflow 2/24..... | 57 |
| Obr. 26. Přetavovací pec pro bezolovnaté pájení..... | 58 |
| Obr. 27. Vznik dutin..... | 61 |
| Obr. 28. Vyčnívající krápník..... | 61 |
| Obr. 29. Dírky ve spoji..... | 62 |
| Obr. 30. Prasklý pájený spoj..... | 62 |
| Obr. 31. Dutiny uvnitř pájených spojů..... | 62 |
| Obr. 32. Stárnutí pájeného spoje..... | 63 |
| Obr. 33. Menší lesklost spoje..... | 63 |
| Obr. 34. Více zrnitý povrch..... | 64 |
| Obr. 35. Špatné smáčení a typické tečení..... | 64 |
| Obr. 36. Nesmočené rohy pájecí plošky..... | 64 |
| Obr. 37. Hrubá struktura – jehlicové krystaly – nepříznivé z hlediska únavové pevnosti...65 | |
| Obr. 38. Mikrotrhliny podkritické velikosti..... | 65 |
| Obr. 39. Šířící se trhlina..... | 66 |
| Obr. 40. Posuv součástky..... | 66 |
| Obr. 41. Tombstoning (Manhattan) efekt..... | 67 |
| Obr. 42. Pájkové můstky (zkraty)..... | 67 |
| Obr. 43. Bez koroze / s korozi s černými skvrnami..... | 67 |
| Obr. 44. Zničení termoplastického pouzdra součástky – 270°C..... | 68 |
| Obr. 45. Zničení součástky..... | 68 |
| Obr. 46. Koncentrace napětí..... | 68 |
| Obr. 47. Trhlina po teplotním cyklu..... | 69 |
| Obr. 48. Snížené smáčení na povrchu pájecí plošky..... | 69 |
| Obr. 49. Špatná smáčivost vývodů součástek..... | 70 |

Obr. 50. Pokroucené desky a vypouklé součástky.....70

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1. Rozdělení tavidel..... | 13 |
| Tab. 2. Srovnání tří nejdůležitějších metod pájení přetavením..... | 22 |
| Tab. 3. Parametry reflow pájení pro olovnaté a bezolvnaté pájky..... | 42 |
| Tab. 4. Kompatibilita mezi jednotlivými slitinami a povrchovými úpravami..... | 47 |

