

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra fyziky

# Vlastnosti vodivých spojů

**Bakalářská práce**

Vedoucí bakalářské práce:

PaedDr. Bedřich Veselý Ph.D.

Autor bakalářské práce:

Pavel Bjalkov

## **Anotace**

V úvodu práce jsou popsány a vysvětleny základní pojmy užívané při návrhu a tvorbě desek plošných spojů včetně popisu technologického okolí. Práce se zabývá popisem spojování a technologií montáže elektronických součástek s deskami plošných spojů. Obsahem jsou také různé druhy zkoušek kvality vodivých spojů a dále technologie osazování součástek ve výrobní praxi s ukázkami možných chyb, vznikajících při tomto osazování a pájení součástek na desky plošných spojů.

## **Abstrakt**

In the introduction of the thesis there are described and explained basic terms used in designing and making printed circuits including the description of technological environment.

The thesis deals with the description of jointing and the technology of assembling electronic components with boards of printed circuits.

Further it also contains various types of tests of conductive joints quality and technologies of mounting parts in manufacturing process with examples of possible mistakes occurring during mounting and soldering the parts on boards of printed circuits

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vlastnosti vodivých spojů“ vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datumě é é é é é é é é é é é ..

Podpisé é é é é é é é é é é é

### **Poděkování:**

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu ing. Petru Kubovi mému konzultantovi za odborné konzultace a dále pak za odbornou pomoc a ochotu při zpracování této bakalářské práce patří mé poděkování také panu PaedDr. Bedřichu Veselému Ph.D.

## Obsah

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvod .....</b>                                                                        | <b>6</b>  |
| <b>1. Návrh motivu a výroba plošných spojů.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| Postup při návrhu plošného spoje .....                                                   | 9         |
| Výkres vodivého obrazce.....                                                             | 9         |
| Požadavky na tvar plošných spojů.....                                                    | 11        |
| Výkres osazení desky součástkami.....                                                    | 11        |
| Osazení desky .....                                                                      | 11        |
| <b>2. Druhy spojů elektronických součástek a jejich rozdělení .....</b>                  | <b>12</b> |
| <b>3. Způsoby vytváření vodivých spojů součástek .....</b>                               | <b>12</b> |
| <b>4. Technologie montáže součástek na desky plošných spojů.....</b>                     | <b>13</b> |
| Pájené spoje.....                                                                        | 13        |
| Pájecí tavidla .....                                                                     | 15        |
| Problémy pájivosti.....                                                                  | 15        |
| Zkoušky pájitelnosti .....                                                               | 16        |
| Lepené spoje .....                                                                       | 16        |
| a) Elektricky vodivá lepidla .....                                                       | 16        |
| b) Elektricky nevodivá lepidla .....                                                     | 17        |
| Připojování mikrodrátů.....                                                              | 18        |
| <b>5. Zkoušky kvality vodivých spojů .....</b>                                           | <b>21</b> |
| Diagnostické metody ke zjišťování kvality lepených a pájených spojů.....                 | 21        |
| Diagnostika kvality spoje vytvořeného mikrodrátkem.....                                  | 21        |
| Kontrolní metody a systémy .....                                                         | 22        |
| <b>6. Popis použitých technologií při montáži elektronických součástek v praxi. ....</b> | <b>28</b> |
| a) Plán rozpisu pro jednotlivé výrobní linky.....                                        | 28        |
| b) Práce operátora na osazovací lince.....                                               | 28        |
| c) Optická kontrola na přístroji AOI.....                                                | 32        |
| d) Kontrola součástek na ESR testeru .....                                               | 34        |
| e) Strojní a ruční dlešení desek plošných spojů.....                                     | 34        |
| f) 100 % vizuální kontrola.....                                                          | 35        |
| g) Balení hotových výrobků.....                                                          | 36        |
| Další technologie používané při pájení .....                                             | 37        |
| <b>7. Závěr .....</b>                                                                    | <b>40</b> |
| <b>Použitá informační zdroje.....</b>                                                    | <b>42</b> |
| Užitá literatura.....                                                                    | 42        |
| Užitá elektronická informační zdroje .....                                               | 42        |
| <b>Přílohy.....</b>                                                                      | <b>43</b> |

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je zpracování základních poznatků o vlastnostech, zkouškách kvality a technologii výroby vodivých spojů.

V počátcích elektronické výroby se používaly pouze drátové spoje, které jsou postupně nahrazovány plošnými spoji. Účítí drátových spojů neumožňovalo zavedení automatizace při montáži součástek a miniaturizaci elektrických obvodů. Drátový spoj je i časově náročnější na montáž a také poměrně nákladný. Plošný spoj nahrazuje vodiče vodivým obrazcem na nevodivém podkladu. Elektrotechnické výrobky obsahují celou řadu elektronických součástek, které musí být navzájem propojeny s ohledem na požadovanou funkci dle elektrického schématu a konstrukce.

V praxi se používají jednovrstvé a vícevrstvé desky plošných spojů. Desky mohou být buď pevné, nebo v poslední době stále používanější desky flexibilní (ohybné). Jednovrstvé desky mají obrazec z vodivé fólie pouze na jedné straně, které říkáme strana pájení či strana A. Druhá strana, na které jsou umístěny součástky, se nazývá strana součástková či strana B. Vícevrstvé desky obsahují více vodivých obrazců oddělených nevodivou deskou. Podle potřeby jsou vodivé obrazce v určitých místech propojeny pokovenými otvory. V současnosti se hojně používají desky pro povrchovou montáž součástek, desky jsou osazeny součástkami s kontaktní ploškou (nemají drátové vývody). Tyto takzvané SMD součástky (Surface mounted devices) nejlépe vyhovují automatizaci osazování desek a jsou připojeny kontaktní ploškou k vodivému obrazci desky.

Z funkčního hlediska celého elektrotechnického výrobku je právě jedním z nejdůležitějších parametrů kvalita potažmo životnost vodivého spoje. Toto je ovlivněno mnoha faktory, mezi které patří hlavně odolnost proti mechanickému a tepelnému namáhání tohoto spoje.

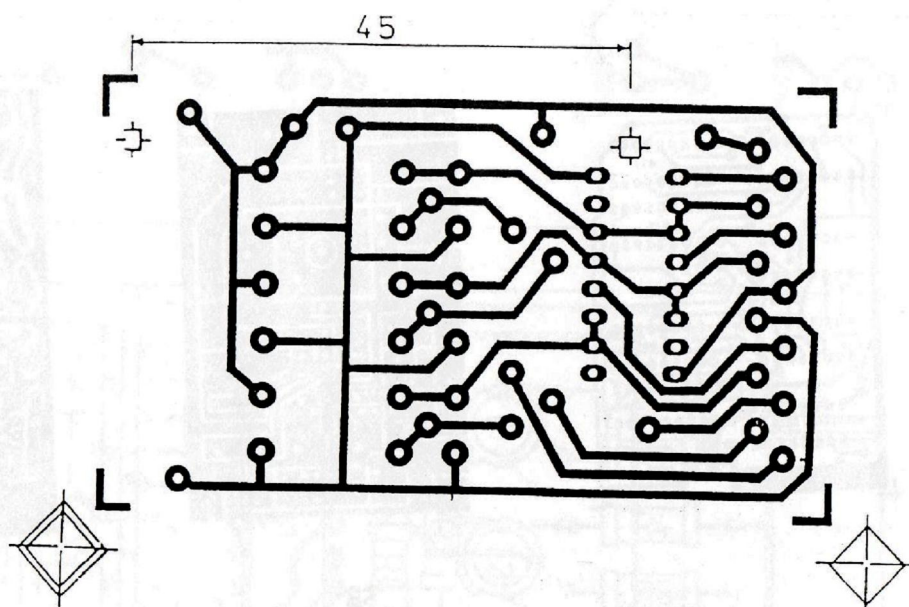
K posuzování trvanlivosti a kvality vodivých spojů jsou prováděny různé druhy zkoušek, jak nedestruktivní, tak destruktivní.

## 1. Návrh motivu a výroba plošných spojů

### Návrh desek plošných spojů

tvorí pohledy na příslušnou stranu desky s vodivým obrazcem (včetně technologického okolí) a musí zahrnovat:

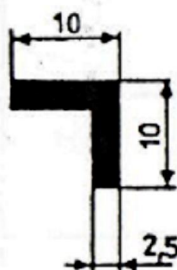
- výkres vodivého obrazce, který určuje jeho tvar a rozměry
- velikost desky určenou rohovými značkami
- kontrolní rozměry mezi kontrolními body
- středy otvorů pro pokovené otvory i drátěné vývody
- základací a montážní body pro osazování součástkami
- označení desky dle účelu, výrobce atd.



Obr. 1. Ukázka návrhu plošné desky s technologickým okolím

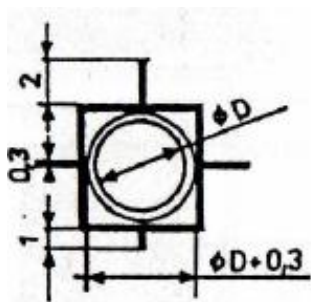
### Technologické okolí obsahuje:

- Rohové značky určující obrys desky



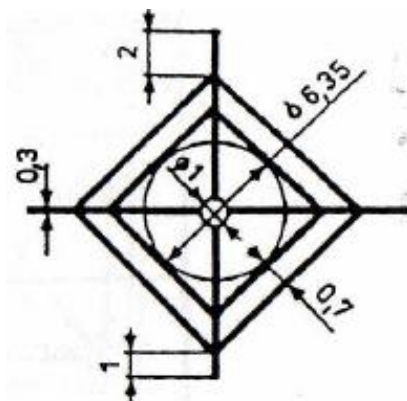
Obr. 2. Rohové značky

- Kontrolní body jsou umístěny v průsečících základní sítě



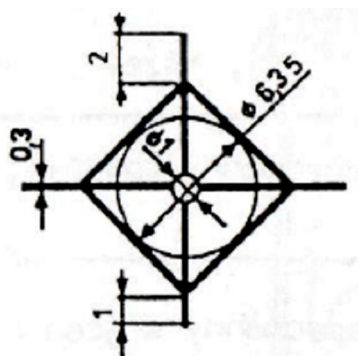
Obr. 3. Kontrolní body

- Výchozí bod tvoší políček pro programové vrtání desek. Lze také užit jednoho základacího bodu.



Obr. 4. Značka výchozího bodu (souřadnicová nula)

- Zakládací bod slouží k přenesení tvaru vodivého obrazce na desku. Jsou vždy dva umístěné vně vodivého obrazce u delšího okraje desky.



Obr. 5. Značka základacího bodu



## Postup při ručním návrhu plošného spoje

1. Nakreslíme schéma zapojení
2. vypracujeme kusovník i veškeré údaje o materiálu a součástíkách plošného spoje
3. Specifikace součástí i jejich tvar, rozměry, rozmístění vývodů atd.
4. Provizorní rozmístění součástí na základní síť a jejich propojení od ruky dle schématu
5. Definitivní rozmístění součástí na základní síť a jejich propojení dle schématu vodivým obrazcem dle zvolené soustavy
6. Nakreslíme výkres osazené desky

## Výkres vodivého obrazce

Podkladem pro návrh obrazce je:

- schéma zapojení
- parametry součástí (dle katalogu i tvary pouzder a vývodů)

Metoda kresby vodivého obrazce i podle materiálu podkladu pro výkres (papír, Al fólie, plastová fólie atd.), podle užitých kreslicích prostředků (tuž, propisot, barva, ploter, CAD tiskárna atd.)

Základní síť je tvořena pravouhlou mřížkou s roztečí (modulem) 2,5mm, nebo 2,54 mm i 1/10", která je dána roztečí vývodů užitých součástí.

Předlohu vkreslíme do základní sítě a to zpravidla v měřítku 2:1 někdy i 4:1

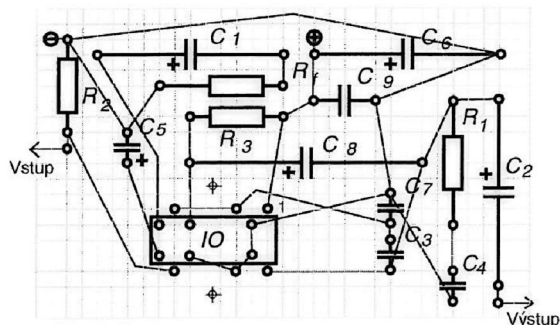
Díry pro vývody součástí pro vodivé propojení více obrazců a pokovené díry u vícevrstevných desek vždy na přesešlůky základní sítě

Návrh předlohy lze provést ručně nebo s podporou počítače (programy ORCAD, FLY, PCAD, FORMICA). Není-li možné vyhnout se při návrhu křivení vodičů, lze užit i drátové propojky. Tyto lze použít také při opravách chyb na desce plošných spojů.

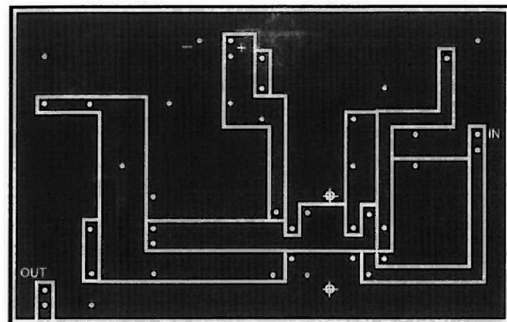
*Soustava jednotných mezer* (metoda dle číselných sítí) i vytváří vodivý obrazec pomocí dle číselných mezer. Jde o méně náročnou metodu i malé plochy nevyžadují leptací lázeň. Velké plochy i vytváří se kapacita mezi vodiči i používá se pro velké proudy a malé frekvence.

Soustava jednotných vodičů (metoda spojových čar) vytváří vodivý obrazec pomocí spojových vodičů. Používá se pro malé proudy a vhodné též pro vyšší frekvence.

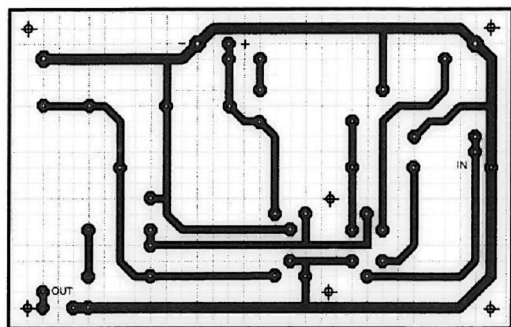
Soustava kombinovaná využívá obou metod. Sdružuje výhody a odstraňuje nevýhody.



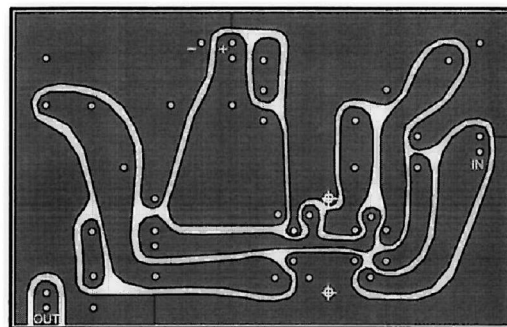
Předběžné rozmístění součástek



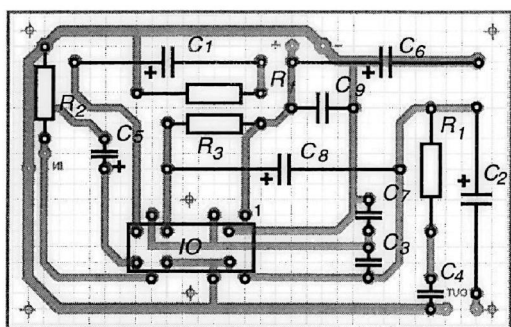
Spoje soustavou dělících čar



Spoje soustavou spojových čar



Spoje kombinací spojových a dělících čar



Obrazec plošných spojů s osazením součástkami

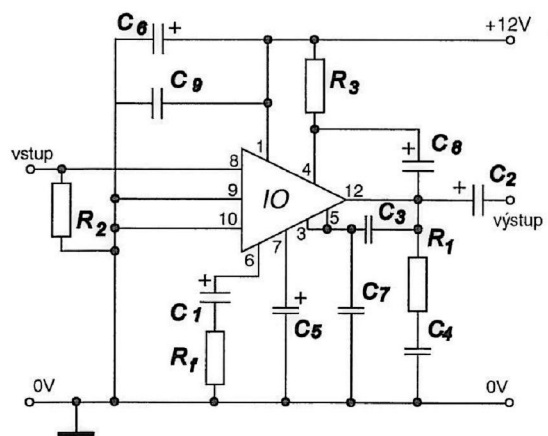


Schéma zapojení

#### SOUPIS SOUČÁSTEK

IO ..... MBA810

#### Rezistory

R1 ..... 2k2  
R2 ..... M1  
R3 ..... 100  
Rf ..... 22

#### Kondenzátory

C1 ..... 5mF/6V  
C2 ..... 1mF/12V  
C3 ..... 1n5  
C4 ..... 100n  
C5 ..... 1mF/12V  
C6 ..... 0,1mF/16V  
C7 ..... 5n6  
C8 ..... 0,1mF/16V  
C9 ..... 100nF

Obr. 6. Přehled návrhu plošného spoje

Výchozí matrice je zhotovena z pšedlohy. Zmenžením dostáváme vodivý obrazec v mřtku 1:1 na prřhledné fólii, která slouží jako podklad pro pracovní matici (užívá se ve výrobě). Na výchozí matici kontrolujeme kontrolní rozměry mezi kontrolními body, které jsou součástí technologického okolí.

Výroba plošných spojů se provádí nejčastěji leptáním, kdy ochranná vrstva chrání vodivý obrazec před leptacím roztokem (chlorid železitý). Ochrannou vrstvu lze nanést ručně i kusová výroba (lak, barva, propisot), fotograficky i malosériová výroba, sítotiskem i velké série. Po odleptání odstraníme krycí vrstvu.

### **Požadavky na tvar plošných spojů**

Vodivý obrazec mohou tvořit pásy přímé, kruhové i lomené a to pokud možno rovnoběžně se základní sítí. Vodiče volíme co nejkratší, pájecí plochy co nejvíce (lepší mechanická pevnost). Napojení vodičů v ostrých úhlech se nedoporučuje (hrozí odtržení vodivé fólie od podkladu). Vysoká hustota plošek a vodičů vytváří často mřstky.

### **Výkres osazení desky součástkami**

Výkres slouží pro montáž součástek na desku. Výkres tvoší pohled ze strany součástek (str. B) nakreslený na pauzovací papír. Součástky nejsou kresleny schématicky, ale obrysově. U integrovaných obvodů zakreslíme orientační klíče, u ostatních součástek dle potřeby polaritu. Na rubu výkresu nakreslíme vodivý obrazec mělkou tužkou. Elektronické součástky označíme písmenem dle druhu součástky a pořadovým číslem shodně s kusovníkem a schématem.

### **Osazení desky**

Můžeme provádět přispájením vývodů součástek na vodivý obrazec ručně nebo v hromadné výrobě např. cínovou vlnou. Neustálým zmenšováním desek plošných spojů vzniklo 6 tříd konstrukčního provedení vodivého obrazce. Charakteristickým znakem jsou šířky vodičů, izolačních mezer a modul základní sítě. Např. třída I i 1mm; II i 0,8mm; III i 0,6mm; IV i 0,4mm (této šířce vodičů odpovídá přibližně šířka mezer). Vyšší třídy využívají pak součástek s kontaktními ploškami tzv. bezvývodové součástky vhodné zvláště pro hromadnou výrobu. [7]

## 2. Druhy spojů elektronických součástí a jejich rozdělení

Druhy spojů rozlišíme podle zvolené technologie při jejich výrobě

Rozdělují se na:

**Mechanické spoje** – při tomto spojení je vytvořen trvalý tlak mezi spojovanými částmi a tento tlak způsobuje pružnou a trvalou deformaci v místě spoje. Tento tlak je trvalý a zaručuje dobrou vodivost spoje. Mezi takovéto spoje se řadí ěroubové, ovíjené, lisované, pružinové a sponové spoje.

**Metalurgické spoje** – vznikají smálením a poté spojením v místě spoje přídáním přídavného kovu ěpájky. Teplota tavení pájky je nižší než teplota tavení základních materiálů a proto se v tomto případě jedná o pájení.

**Lepené spoje** – vznikají za použití různých druhů buď vodivých nebo nevodivých lepidel užívaných v elektrotechnickém průmyslu.

**Svařované spoje** – používá se při technologii spojování mikrodrátů. Dochází k roztavení základních materiálů.

## 3. Způsoby vytváření vodivých spojů součástí

Způsob, jakým jsou součástky spojovány na desku plošného spoje je závislý na místě spoje, na vhodnosti použité technologie, na funkci výrobku atd. Vodivý spoj musí kromě dobré elektrické vodivosti splňovat také další funkce například dostatečnou mechanickou pevnost nebo dostatečnou schopnost odvodu tepla ze součástky.

V současné době se pro spojování součástí používá především technologie **pájení**, která je spolehlivá a ověřená dlouholetým používáním a zaručuje dlouhodobou bezchybnou funkci a životnost spoje.

Jako nevýhoda se v poslední době ukazuje používání pájecích slitin s přítomností olova, škodícího životnímu prostředí. Z tohoto důvodu se v současnosti hledají různé způsoby a řešení k odstranění nečistého olova z pájecích slitin a používání bezolovnatých slitin například bezolovnatá slitina cínu, nikl nebo palladium, nikl nebo zlato atd. Používání těchto bezolovnatých slitin by nemělo přinést změnit stávající technologie a pracovní postupy zavedených při používání olovnatých pájek. Další nezanedbatelný aspekt používání bezolovnatých pájek je jejich cena a tato je v současnosti výšší než cena pájek olovnatých.

Další možností je používání různých druhů **lepidel**, což přináší také jak výhody, tak nevýhody. Mezi výhody patří možnost připojení vývodů s rozteží až 0,1 mm na rozdíl od pájených spojů umožňující vytvoření spoje do rozteže 0,3 mm. Pod tuto vzdálenost se mohou tvořit zkratky mezi vývody nebo pájenými plochami. Jako nevýhoda se jeví nedostatečná přesnost při aplikaci lepidla na určené místo připojování.

Při elektrickém spojování zapouzdřených čipů (např. integrovaných obvodů) se používá technologie **připojování mikrodrátky** (wire bonding). Tato technologie umožňuje elektrické spojování čipů s velkým počtem a hustotou vývodů.

#### 4. Technologie montáže součástek na desky plošných spojů

##### Pájené spoje

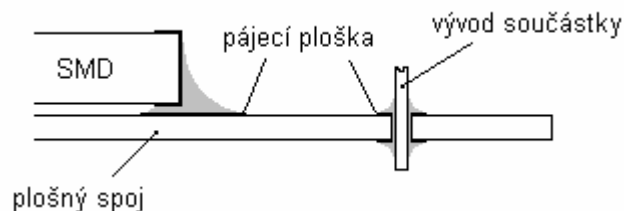
Pájení je obecný název technologie, při které jsou kovy spojovány-pájeny pomocí roztaveného kovu - pájky. Atomy na povrchu základního materiálu se dostanou s atomy roztavené pájky do takové blízkosti, že umožní vznik tzv. adhezních a kohezních sil. Dále dochází k rozpouštění některých materiálů a vzniku přechodové oblasti mezi pájkou a pájeným materiálem, která má jiné mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti. V případech, které nás zajímají nejvíc, tzn. pájení součástek i různých materiálů převážně z barevných kovů a jejich slitin pájkami, hovoříme o tzv. měkkém pájení. Existuje i pájení tvrdé, rozlišujícím faktorem je teplota. Hranice není úplně přesně definována, pro hrubou orientaci můžeme říci, že při teplotách do cca 330 °C hovoříme o pájení měkkém, při teplotách nad cca 500 °C o pájení tvrdém. Princip měkkého pájení spočívá ve spojování-pájení kovů pomocí pájky, která má bod tavení nižší, než bod tavení spojovaných - pájených kovů. V případě měkkého pájení je pájkou slitina cínu a dalších vhodných kovů, u tvrdého pájení jde obvykle o slitinu mědi, hliníku a stříbra. V elektrotechnickém průmyslu se nejčastěji používá tzv. eutektická pájka, která obsahuje 62 % cínu a 38 % olova. Tato pájka se taví při nejnižší teplotě všech slitin Sn/Pb a to při teplotě 183° C.

V součástné době se začíná přecházet na používání bezolovnatých pájek. Pro odstranění olova z pájek musíme najít takové slitiny, které splňují technologické požadavky procesu a jakostní požadavky na finální výrobek.

Toto se týká především teploty tavení, tepelné a elektrické vodivosti, mechanické pevnosti, pájivosti atd. V složení bezolovnatých pájek se vyskytuje minimálně 60 %

cínu a zbytek tvoří drahé kovy. Největší rozdíl mezi olovnatými a bezolovnatými pájkami je hlavně v teplotě tavení, jež se u bezolovnatých pájek pohybuje v rozmezí teplot 195 i 227 ° C.

Procesem pájení musíme dosáhnout dlouhodobě spolehlivého spoje jak z hlediska mechanické pevnosti, tak z hlediska elektrické vodivosti. [5]



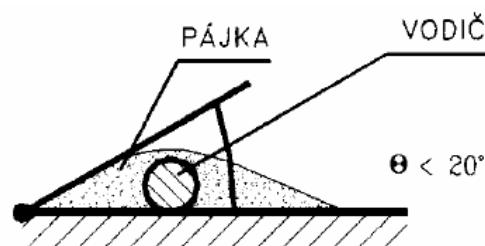
Obr.7. Pájení různých typů součástek

**Pájitelnost** - toto je jedna z nejdůležitějších podmínek pro vytvoření kvalitního spojení pájených materiálů. Pájitelnost povrchu je schopnost tohoto povrchu difundovat s pájkou.

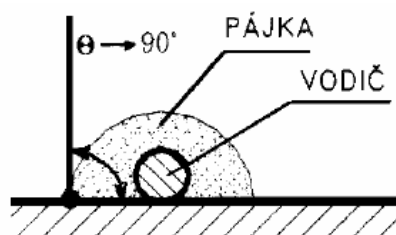
**Smálivost** - je schopnost povrchu být smálený pájkou a je ovlivňována několika faktory. Například druhem smáleného materiálu, složením pájky, množstvím nečistot, oxidací povrchu atd.

Stupně smálení můžeme rozdělit na :

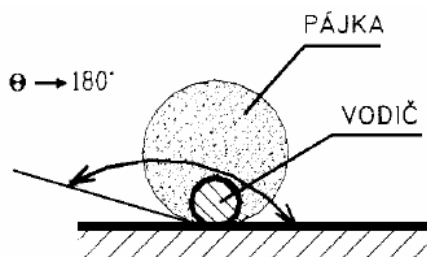
- Nesmálení i nevytvoření se metalurgická vazba i použité tavidlo nemůže odstranit povrchové nečistoty, zoxidovaná vrstva je příliš silná
- Smálení i vzniká metalurgická vazba i vytváří základ pro spolehlivý spoj
- Odsmaření i pájka smolí povrch a následně z něj ustoupí. Toto může vzniknout při pájení kontaktů z drahých kovů, které se rychle rozpouští v Sn/Pb pájce. [1]



Obr.8. Dokonale smálený povrch



Obr.9. ČpatnĎsmál ivý povrch



Obr.10. Nesmál ivý povrch

**Pájecí tavidla** - Tavidlo podporuje smálení, odstraňuje oxidy a nečistoty ze spojovaných povrchů. Ideální tavidlo by mělo být aktivní při pájecí teplotě a neaktivní při normální teplotě aby se nemuselo po pájení odstraňovat. Takovéto ideální tavidlo však neexistuje. Tavidla dělíme na rozpustná rozpouštěním a tavidla rozpustná vodou. [1]

## Problémy pájivosti

- Oxidace je nejvíce problémem pájitelnosti je způsobena oxidací, kterou vzniknou použité tavidlo rozpustí, ale v některých případech nemusí být tavidlo dostatečně aktivní, nebo zoxidovaná vrstva je příliš silná.
- Znečištění je kovové nebo organické zbytky a dále též zbytky balicího materiálu nebo otisky prstů vzniklé neopatrnou manipulací mohou snížit schopnost pájení.
- Porézní povrch pájky je na tento jev jsou náchylné úpravy povrchu elektropokovením. Na rozdíl od ponošení do pájky se vytváří na povrchu hrudky cínu a olova.
- Nepravé spojovací metalurgie je zlato a stříbro je vysoce rozpustné v Sn/Pb pájce, což vede ke zvýšení koncentrace těchto kovů v pájce a tímto dochází ke

změnou vlastností pájky. Takto vzniklý spoj je vizuálně vyhovující avšak příliš křehký. [1]

## **Zkoušky pájitelnosti**

Protože celý proces pájení je velmi složitý, musí se provádět zkoušky pájivosti. Byly vyvinuty různé druhy zkoušek založených na vizuálních kritériích nebo na měření skutečných charakteristik smálovosti a pájivosti. Tyto zkoušky se pokouží určit požadovanou smálovost kontaktů a dále pak rozsah smálení během procesu pájení. Zkoušky pájivosti jsou definovány např. v IEC EN 60068-2-69, IEC 345791-2-58 a IEC 345791-2-54. [1]

## **Lepené spoje**

Se stále vzrůstajícím požadavkem na ekologii se klade větší důraz na používané technologie spojovacích materiálů, např. používání lepidel.

- |                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| a) Lepidla elektricky vodivá   | - izotropní       |
|                                | - anizotropní     |
| b) Lepidla elektricky nevodivá | - tepelněnevodivá |
|                                | - tepelněvodivá   |

### **a) Elektricky vodivá lepidla**

(ECA – Electrically Conductive Adhesives)

Obsahují dvě složky – vazební a vodivou. Vazební složka slouží jako izolační vrstva. Tato vrstva obsahuje vodivé částice a dále zajišťuje mechanické vlastnosti spoje (pevnost, houževnatost a klimatickou odolnost). Vodivá složka slouží k zabezpečení elektrické a tepelné vodivosti spoje.

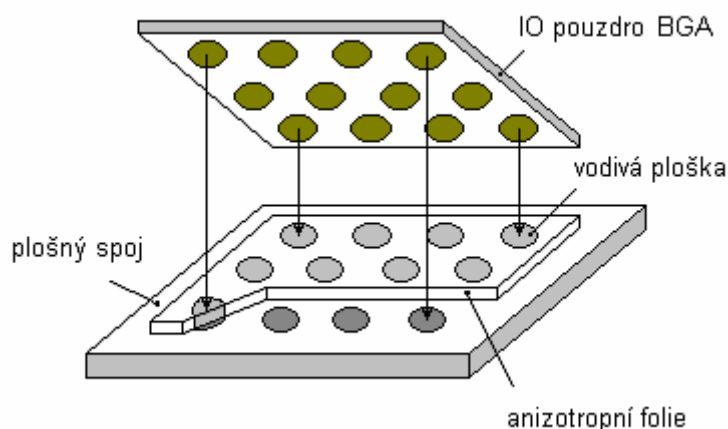
Ve většině případů se jako vazební materiál používá silikonová nebo polyamidová pryskyřice. Teplota vytvrzování se pohybuje od 100 °C do 140 °C a doba vytvrzování od 0,5 do 2 hodin. Existují i lepidla, která se vytvrzují při normální teplotě avšak doba vytvrzení je mnohem delší.

Vodivá složka je tvořena stříbrnými, miedňými, nebo niklovými pocínovanými částicemi. Na tvaru těchto částic je závislá elektrická vodivost lepeného spoje.



- Izotropní lepidla i elektrická vodivost probíhá ve všech směrech stejně
- Anizotropní lepidla i jsou elektricky vodivá v kolmém směru na povrch desky plošného spoje a nevodivá ve směru rovnoběžném.

Při spojování vodivými lepidly se také používá fólie vyrobená z těchto lepidel. Mezi součástí a deskou plošného spoje se vloží anizotropní lepicí fólie a po vytvrzení lepidla dojde k propojení vývodů součástky s kontaktní ploškou.



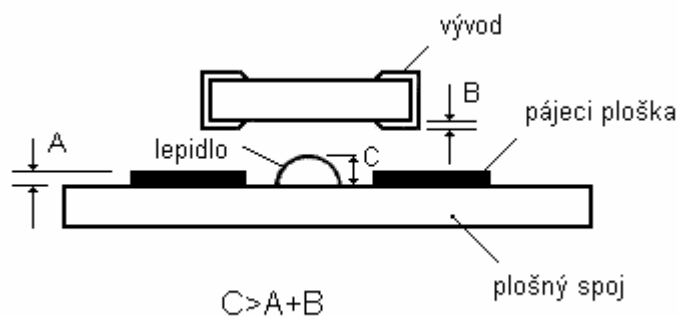
Obr.11. Použití anizotropní lepicí fólie

Při hodnocení vlastností pájených a lepených spojů se jeví stále jako výhodnější použití technologie pájení, avšak z již dříve zmiňovaných ekologických důvodů se lepeným spojům stále věnuje stále větší pozornost. [3]

## b) Elektricky nevodivá lepidla

se používají pro fixaci součástek na desku plošného spoje. Po vytvrzení lepidla probíhá standardní postup pájení.

Tepelně vodivá lepidla se používají k odvádění ztrátového tepla ze součástek a tím se snižuje termomechanické napětí ve spoji způsobené různou teplotní roztažností součástek a desky plošného spoje. Je třeba dbát na množství použitého lepidla, aby nedocházelo při použití většího množství k jeho rozlití a následně ke kontaminaci pájecích plošek. V případě potřeby dosažení dostatečné adheze lze použít i několik lepicích bodů. [3]



Obr.11. Použití elektricky nevodivého lepidla

## Připojování mikrodrátky

Principem připojování mikrodrátky vytvášení svaru mezi mikrodrátkem a připojovací ploškou desky.

V soulastné době se používá technologie připojování při teplotě 150 i 200 °C, čímž se odstraňuje vznik škrtých slitin (vznikají při použití vyšší teploty) a podstatně se zvyšuje spolehlivost spoje.

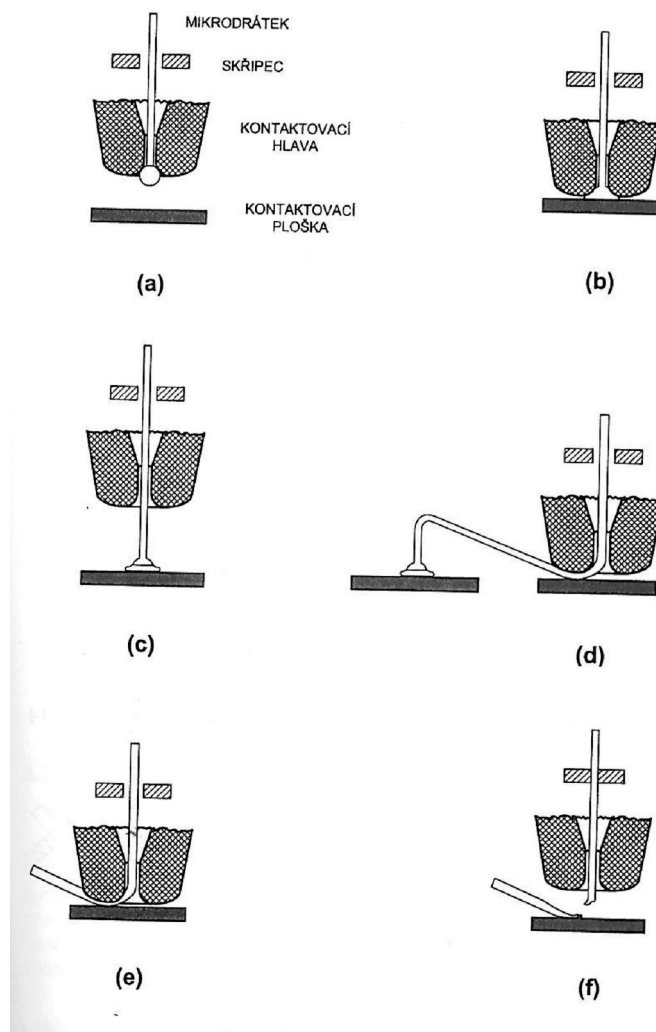
Mikrodrátky jsou vyráběny z materiálů, které umožňují vytáčení drátu o velmi malém průměru (menší než 50 μm) a které se dobře svařují. Nejčastěji se používá slitina AlSi (1 %), AlMg (1 %), Au, Cu.

Připojování mikrodrátky je prováděno těmi základními technologiemi:

- termokompresí (je užíváno Au drátek)
- ultrazvukovým svařováním (je užíváno AlSi a AlMg drátek)
- termosonickým svařováním (je užíváno Au a Cu drátek)

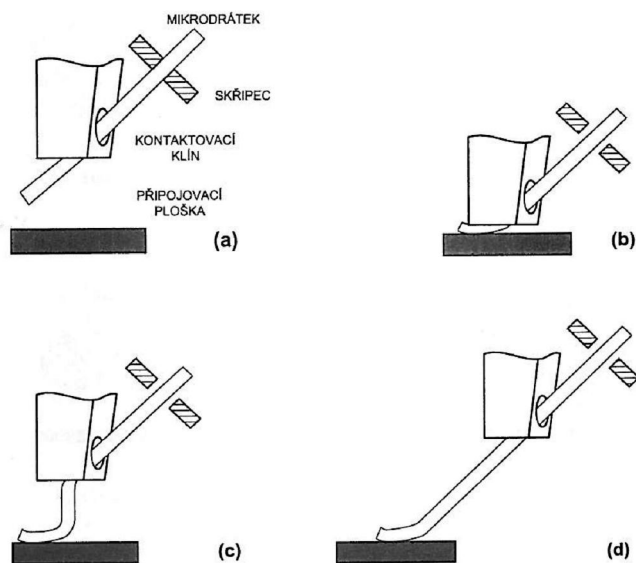
Podle tvaru připojovacího nástroje a zakončení mikrodrátku jsou užívány dva základní způsoby:

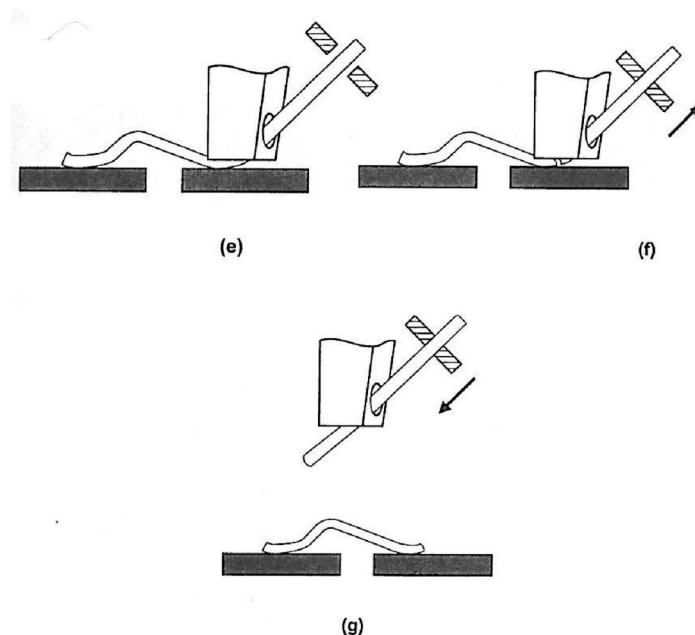
- kontaktování na kuličku i na konci drátku je pomocí elektrického výboje vytvořena kulička. Drátek je pak pomocí kontaktní hlavy přisvařen na plošku desky [3]



Obr.12. Technologické kroky pŠ kontaktování na kuliř ku

- kontaktování hranou





Obr.13. Technologické kroky pŠ kontaktování hranou

**Termokoprese** i pŠ této technologii vzniká spoj mezi mikrodrátkem a kontaktní ploškou kombinací teploty a tlaku. Svar je pŠ kontaktování vytvořen vzájemnou difusí krystalové mŠčky mikrodrátku a kontaktní plošky. Teplota ohŠvu kontaktní plošky a mikrodrátku, který se od ní pŠ kontaktování ohŠvá je nižší než její teplota tavení a zbylá energie potřebná pro vytvoření svaru je dodána energií tlakovou. [3]

**Ultrazvukové pŠipojování** i spořívá ve smykovém prolínání atomŮ. Dosud vřak neexistuje matematický model, který by tento mechanismus popisoval s dostateřnou přesností. Spoj se vytvář pŠ pokojové teplotě a kontaktní ploška není pro kontaktování ohŠvána řádným zdrojem tepla. To se vytvář tak, ře kontaktovací hlava se rozkmitá ve vodorovné rovině a pŠtiskne mikrodrátek na kontaktní plošku. PŠtlačná síla souřastně s kmity přechod materiálu mikrodrátku a kontaktní plošky do plastického stavu. V oblastech spoje dojde k vzájemné difundaci krystalových mŠček materiálŮ. Kmitořet rozkmitání kontaktovací hlavy je v rozmezí 20 i 120 kHz a doba, za kterou je spoj vytvořen je přibližně 25 ms, tedy tento způsob kontaktování je asi 50x rychlejší než kontaktování termokompresí. [3]

**Termosonické pŠipojování** i je kombinace termokompresie a ultrazvukového pŠipojování Au nebo Cu drátku. [3]

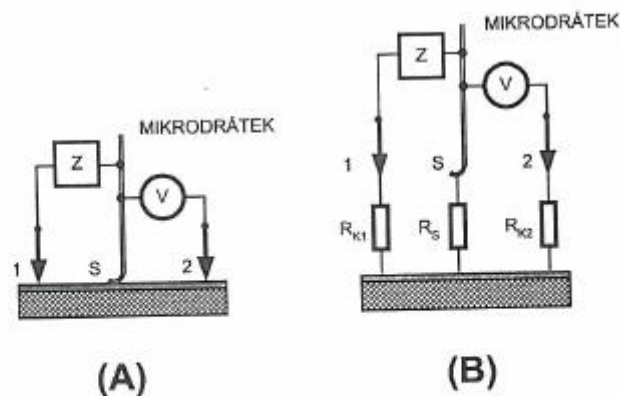
## 5. Zkoušky kvality vodivých spojů

### Diagnostické metody ke zjišťování kvality lepených a pájených spojů:

- Sledování struktury materiálu spoje je prováděno optickou elektronovou mikroskopií
- Sledování tvaru spojů je prováděno optickou mikroskopií
- Sledování elektrických vlastností spojů z hlediska elektrických vlastností spojů se sleduje zejména elektrický odpor.
- Sledování adheze spojů tento parametr je měřen Pull-off testem, při němž je spoj odtržen silou kolmou k rovině desky plošného spoje
- Sledování migrace iontů je prováděna hlavně u lepených spojů, kde vodivé částice mohou způsobit zkrat mezi propojovacími ploškami s malou roztečí. [3]

### Diagnostika kvality spoje vytvořeného mikrodrátkem

- **Metody pro testování elektrických vlastností** z elektrických vlastností jsou nejčastěji sledovány elektrický odpor vytvořených kontaktů, jejich  $\tan \delta$  a nelinearita jejich voltampérové charakteristiky. Pro měření elektrických vlastností je užíváno nejčastěji uspořádání podle obrázku 1.14. V části (A) tohoto obrázku je uvedeno skutečné uspořádání měření. Zdroj Z je stejnosměrný zdroj proudu. V případech kdy je měřen odpor a  $\tan \delta$  spoje S a sinusový zdroj proudu v případě měření nelinearity voltamperové charakteristiky spoje, V je stejnosměrný voltmetr v případě že je měřen odpor a střídavý milivoltampermetr při měření  $\tan \delta$  a nelinearity. Střídavý milivoltmetr musí umožňovat nastavení různých měřících frekvencí a různé šířky pásma vstupního filtru. Část (B) ukazuje náhradní schéma ve kterém představují odpory  $R_{k1}$  a  $R_{k2}$  odpory měřících kontaktů vytvořených na vodivé vrstvě a  $R_s$  odpor kontaktu připojeného mikrodrátku. Při měření je kontaktní odpor S napájen proudem, který dále protéká vodivou vrstvou ke kontaktu 1 a přes kontaktní odpor  $R_{k1}$  měřícího kontaktu 1 zpět do zdroje. Na odporu spoje  $R_s$  vzniká napětí, které je snímáno voltmetrem V přes odpor  $R_{k2}$  měřícího kontaktu 2. [3]



S ... spoj realizovaný mikrodrátkem  
 Z ... ss nebo stř. zdroj proudu (podle typu měření)  
 V ... ss nebo selektivní voltmetr (podle typu měření)

Obr. 14 Uspořádání pro měření odporu, nelinearity a gumu.

- **Metody pro testování mechanických vlastností** ě z mechanických vlastností se sleduje zejména jejich pevnost vztahu. Mikrodrátek je pšpojený na dvou místech na kontaktovací plošku tak, ě vytváš smýl ku. Zachytí hál kem, který je vytahován kolmo vzhřru a mřš se síla pš které dojde k odtržení drátku od kontaktovací plošky nebo k pšetržení drátku. Je-li drátek dobře pšpojen, je síla potřebná pro porušení kontaktu s ploškou vřšně než síla potřebná pro pšetržení drátku. [3]

## Kontrolní metody a systémy

Kontrola prřbřhu technologického procesu je zamřřna na jednotlivé operace smřřující k vytvoření pevných spojřř. V praxi vřřak neexistuje jednoznařřný zpřřsob kontroly ke stanovení spolehlivosti spojřř dle stanovených kritřřř.

Existují tedy dva základní přřstupy k provádřřní kontroly technologického procesu montáže elektronických celkřř:

- Manuální optická kontrola
- Automatizovaná kontrola

**ad a) Manuální optická kontrola** spořřívá v optické kontrole pájených spojřř podle přřdem stanovených kritřřř (tvar spoje, barva, množství pájky). Tato metoda je velmi flexibilní, avřřak v řřriové výrobě velmi pomalá.

**ad b) Automatizovaná kontrola** v posledních letech se stále více uplatňuje automatizované kontrolní systémy. Ty se vyznačují dostatečnou rychlostí a přesností.

Automatizovaná kontrola slouží ke dvěma hlavním cílům:

- Operativní řízení procesu (odhaluje vznik případných poruch a stanovuje zásahy do procesu)
- Identifikace poruch (nalezení a odstranění poruchy)

**Z hlediska principu lze rozdělit na tři skupiny:**

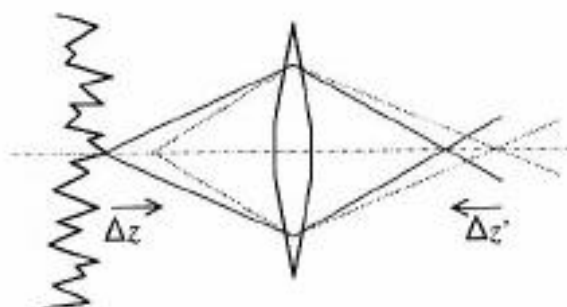
- a) optické metody
- b) metody využívající rentgenového záření
- c) ostatní metody

**ad a) Optické diagnostické systémy** slouží nejen pro kontrolu ale i pro detailní zobrazení. Jsou realizovány 2D a 3D systémy.

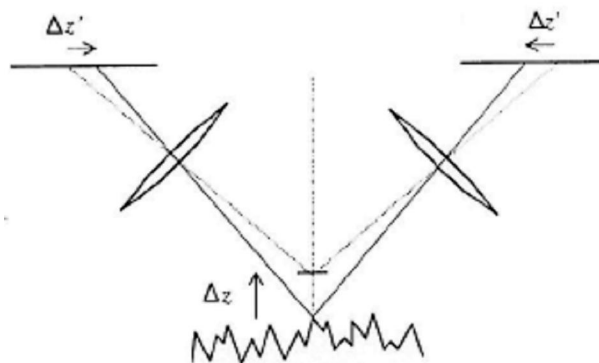
2D systém zobrazuje sledovaný objekt na základě kontrastu v rovině  $x, y$ . Vhodným nasvícením lze docílit i měření výšky a tímto způsobem lze měřit reálné rozměry objektu 2d +.

Optické 2 D systémy používají ke zobrazení kamery nebo laserové snímáče. U kamer se využívá vlnčnou CCD snímáče a speciální zobrazovací procesor pro analýzu dat. Ve druhém případě je použit laser jako zdroj světla a optomechanický deflektor a fotodetektor pro jeho detekci.

3D systém využívá různé optické měřicí metody trojrozměrného zobrazení. Jsou to například ohniskové detektory měřící polohu ohniska paprsku odraženého od povrchu měřeného předmětu. Další metoda je založená na trigonometrické bázi. Snímání povrchu neprochází v kolmém směru k rovině objektu, ale pod určitým úhlem.



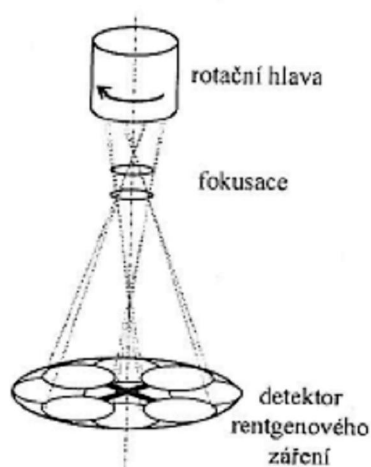
Obr.15. Ohnisková metoda



Obr.16. Trigonometrická metoda

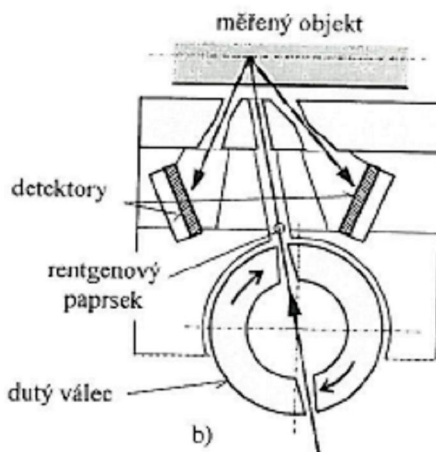
**ad b) Rentgenová defektoskopie** je realizována na transmisním principu, kdy svisle na měřený objekt je na jedné straně umístěn zdroj rentgenového záření a na druhé straně detektor převádějící rentgenové záření na viditelné světlo. Jeho zpracování probíhá stejně jako u optických systémů, na monitoru je provedeno zobrazení a pomocí počítače pak analýza dat.

Poněkud dokonalejší je tzn. transmisní rotační metoda (laminografie) kde sledovaný objekt je snímán pomocí několika obrazů. Dalším principem rentgenové defektoskopie je vyhodnocování odraženého sekundárního záření, což umožňuje kontrolu a měření na oboustranně osazených deskách. Je-li materiál ozářen rentgenovými paprsky, dochází k interakci těchto paprsků s atomy příslušného materiálu, což vyvolává záření vlnové délky (florescenční záření). Velikost intenzity záření závisí na objemové hustotě materiálu, což znamená, že čím více atomů je přítomno, tím vyšší je intenzita.



Obr.17. Transmisní rotační metoda





Obr.18. Analýza pomocí zpřímého záření

**ad c) Metody založené na akustických a tepelných jevech**

- **Mikroskopie** využívající povrchové akustické vlny je založena na měření odrazu vysokofrekvenčních vln od měřeného objektu (hloubka průniku je 5 až 1000  $\mu\text{m}$ ), kde odražený signál je generován v důsledku rozdílné akustické impedance rozdílných materiálů. Rozlišení při použití této metody je vysoké, až 10  $\mu\text{m}$  ve směru os x, y a 0,1  $\mu\text{m}$  ve směru osy z (při použití kmitočtu 26 GHz), ale jeho nevýhodou je nutnost umístění zdroje i měřeného objektu v kapalině z důvodu zajištění dostatečného přenosu povrchových akustických vln.
- **Tomografie** s použitím povrchových akustických vln využívá stejného principu jako akustická mikroskopie, rozdíl je v použití nižších kmitočtů (15 až 100 MHz), což umožňuje měření větší hloubek (až několik mm). Pomocí detekce podle Rayleighova způsobu lze získat 3D obraz v reálném čase.
- **Laserová mikroskopie akustická nebo tepelná** využívá špičkových pulzů energie laseru. V prvním případě dochází k vyvolání vibrací ve spoji a následuje měření jejich kmitočtu (např. u studeného spoje je kmitočet několikanásobně nižší než u spoje dobrého). V druhém případě dochází k ohřátí spoje s následným měřením teplotní charakteristiky detektorem infračerveného záření (dobrý spoj rychle přivádí teplo do okolí a zahřívá se méně než spoj s dutinami a jinými anomáliemi).

- **Teplotní zobrazovací metody** sledují teplotní rozložení na substrátu, jež je měřeno detektorem infračerveného záření. Problém však nastává v nebezpečí poškození součástí, v omezenou možnost kontroly až na kompletní substráty a také v poměrně značné toleranci předpokládaného teplotního rozložení. [2]

| Typ systému                         | Zobrazení              | Rozlišení x, y<br>[μm] | Rozlišení z<br>[μm] | Detekce<br>skrytých bodů | Vliv<br>materiálu | Poznámka                                          |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------------------------------|
| Optický 2D s kamerou                | omezené                | 15–35                  | –                   | ne                       | značný            | páj. pasta, posuny, zkratky, izol. mezery         |
| Optický 2D s laserem                | omezené                | < 15                   | –                   | ne                       | značný            | dtto                                              |
| Optický 2D+ kamera, smart světlo    | možné                  | 15–35                  | > 160               | ne                       | značný            | dtto                                              |
| Optický 3D trigon. systém s laserem | velmi dobré (aktuální) | < 15                   | < 35                | ne                       | malý              | páj. pasta dokonale, součástky, spoje mimo trhlin |
| Rentgenový (transmisní)             | dobré                  | < 15                   | 35–70               | možná                    | částečný          | páj. pasta, souč., spoje, množství a zbytky pájky |
| Rentgenový (transmisní rotační)     | velmi dobré (aktuální) | 15–35                  | 35–70               | možná                    | částečný          | dtto                                              |
| Rentgenový (sekundární odražené)    | omezené                | 35–70                  | 70–160              | možná                    | částečný          | dtto                                              |
| Akustická mikroskopie a tomografie  | ne                     | 35–70                  | 35–70               | závisí na uspořádání     | značný            | páj. spoje                                        |
| Akustická laserem a teplotou        | ne                     | 70–150                 | > 160               | závisí na uspořádání     | značný            | páj. spoje                                        |

Obr.19. Základní parametry kontrolních systémů používaných v montážních technologiích

S ohledem na dva základní cíle kontroly, jimiž jsou pájecí pasta po nanesení a pájené spoje po pájení, jsou nejvhodnějšími metodami 3D systém s laserem a rentgenové techniky. 2D a 2D+ systémy umožňují informaci o poloze (v osách x, y), avšak již nejsou schopni identifikovat např. množství nanesené pasty nebo množství pájky ve spoji.

Jednoduchá rentgenová transmisní metoda může být účinně využívána pro jednostranné desky, ale pro oboustranné musí být použito rotačního způsobu. Poměrně dokonalé (s výjimkou trhlin a prasklin) lze kontrolovat tímto způsobem pájené spoje, včetně zbytků pájky na desce, pokud nejsou rozptýleny ve zbytku tavidla.

Pro součástky bez páskových vývodů je nutné použít laserové 3D systémy a 2D+ systémy, které splňují požadavky na sledování objektů s rozdílnou výškou. Prakticky je nemožné je však zjišťovat dutiny a trhliny v pájených spojkách.

Při posuzování kontrolních systémů a jejich zavádění do výroby jsou výchozími požadavky následující hlediska:

- Princip použití (kontrola pájecí pasty nebo pájecích spojků)
- Způsob použití (v lince nebo mimo linku)
- Cíl použití (typ součástek)
- Objekt výroby a cena

Hodnocení v provozu se provádí velmi obtížně, neboť je závislé na způsobu získaných informací a jejich vyhodnocování. Obecně se udává hodnota úniku poruch (poměr nezjištěných poruch k celkovému počtu poruch), která nemá překročit 2 %.

Naopak akceptovatelná hodnota neoprávněně identifikovaných tzv. falešných poruch (poměr počtu falešných poruch k počtu kontrolovaných dobrých prvků) nemá překročit 0,005 %.

Ověření funkce kontrolního systému pro daný typ výroby se provádí ve třech krocích:

1. Výzkumná fáze, kdy probíhají testy na vybraných souborech desek odebraných z výroby, jež rovněž prochází důkladnou optickou kontrolou. Výsledky obou testů se pak srovnávají.
2. Tzv. Alfa test, jež je opakováním předchozího testu na větším počtu desek a navíc se kontroluje oblast nastavení zařízení v souladu s požadavky. Výsledky musí potvrdit funkčnost kontrolního systému pro dané použití.
3. Tzv. Beta test, což představuje zařazení kontrolního systému do výrobní linky včetně sledování a ověřování získaných údajů. [2]

## **6. Popis použitých technologií při montáži elektronických součástí v praxi.**

V praxi jsem provedl zdokumentování postupu osazování plošných spojů používaných v jedné elektrotechnické firmě zabývající se osazováním součástí na desky plošných spojů a tento se skládá z následujících kroků:

### **a) Plán rozpisu pro jednotlivé výrobní linky**

Plán se připravuje pro operátory jednotlivých výrobních linek.

Tento plán obsahuje data typu výrobku. Dále obsahuje průvodku výrobku a tato obsahuje výkresovou dokumentaci, celkové množství výrobků v zakázce a kusovník výrobku. Plán výroby je generován z podnikového systému SAP. Do procesu vstupuje dále pracovní postup pro jednotlivé typy výrobků, ve kterém jsou přesně popsány jednotlivé kroky technologie výroby.

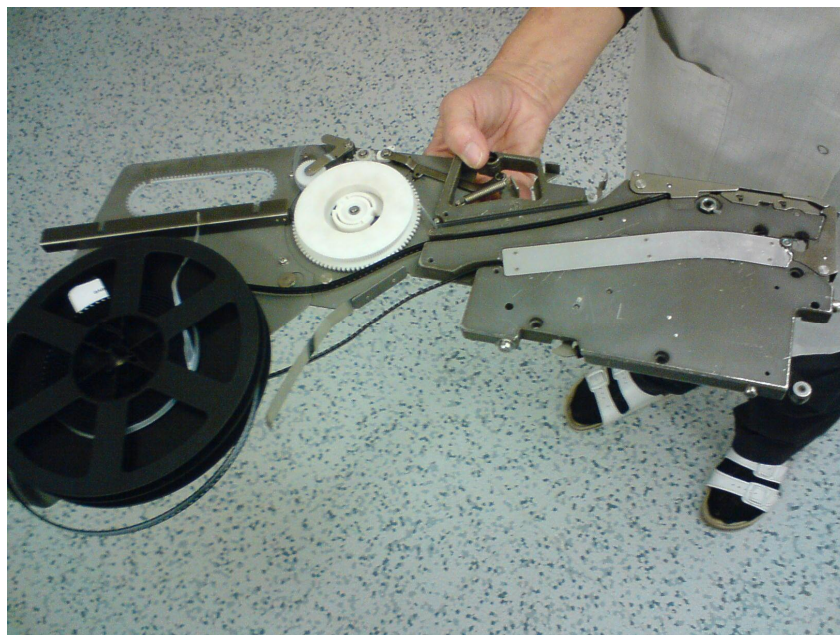
### **b) Práce operátora na osazovací lince**

- **Příprava práce**

Operátor začíná práci zápisem do provozního deníku linky.

Dále pomocí čárového kódu načte operátor z průvodky do systému začátek a poté konec zahájení práce.

Z příslušného (dílenkého) skladu odebere operátor příslušné elektronické součástky a naplní je do zásobníku osazovacího stroje.



Obr.20. Zásobník elektronických součástí pro osazovací automat

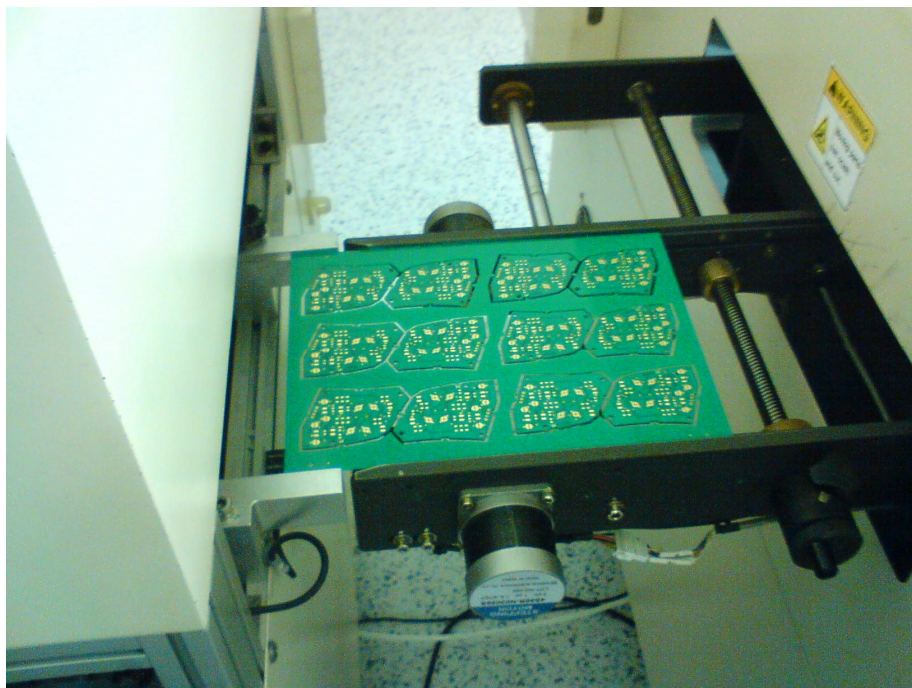
- **Tisk pájecí pasty**

Pro nanášení pájecí pasty na desku plošných spojů se v osazovací lince používá tisková šablona.

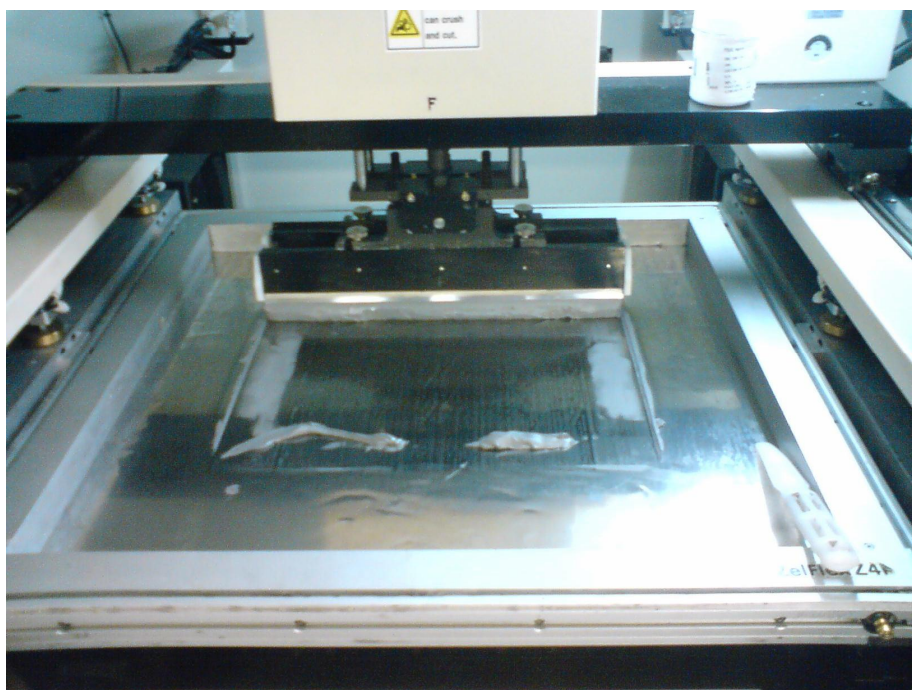
Následuje volba programu pro tisk na určitý typ výrobku i program obsahuje například hodnoty tlaku stříčky, rychlost pohybu stříčky, interval cyklu mytí šablony atd.

Desky plošných spojů se zakládají na začátek osazovací linky na pásový dopravník, který transportuje desky přes celou osazovací linku.





Obr.21. Pohled na nerozdílené desky na transportním pásu procházející osazovací linkou



Obr.22. Zařízení pro tisk pájecí pasty

- **Visuální kontrola kvality a přesnosti tisku letovací pasty**

Po výstupu potitné desky následuje visuální kontrola umožňující odhalení vad při nanášení pasty, například ucpanou šablonu. Pro tuto kontrolu se používá podsvícená lupa se dvou nebo desetinásobným zvětšením.

- **2D inspekce**

Tato kontrola umožňuje za pomoci skenování desky plošného spoje s nanesenou letovací pastou porovnávat tuto se vzorem desky a tímto se zaměřit na kritická místa a odhalovat případné nedostatky.

- **Osazování součástek na osazovacím automatu**

Operátor zalóží předem připravený zásobník s el. součástkami do osazovacího automatu. Dle pracovního postupu nastaví operátor na osazovacím automatu příslušný program obsahující mimo jiné hlavní pozice a elektrické hodnoty osazovaných součástek. Dále již operátor spustí osazovací automat.

Operátor vizuálně kontroluje první osazenou desku, která vyjede na dopravníku z osazovacího automatu. Tato kontrola se provádí pod mikroskopem s desetinásobným zvětšením. Další namátková kontrola se provádí v průběhu celého procesu a je prováděna pracovníkem útvaru šíření jakosti.



Obr.23. Osazovací automat SAMSUNG CP 45 FV NEO

- **Přetavení pájecí pasty**

Toto přetavení probíhá v tavicí peci, v tomto případě zn. Heller. Již osazené desky plošných spojů procházejí touto pecí na transportním pásu a po průchodu desek plošných spojů jsou již součástky na desce pevně spojeny elektricky vodivým spojem.



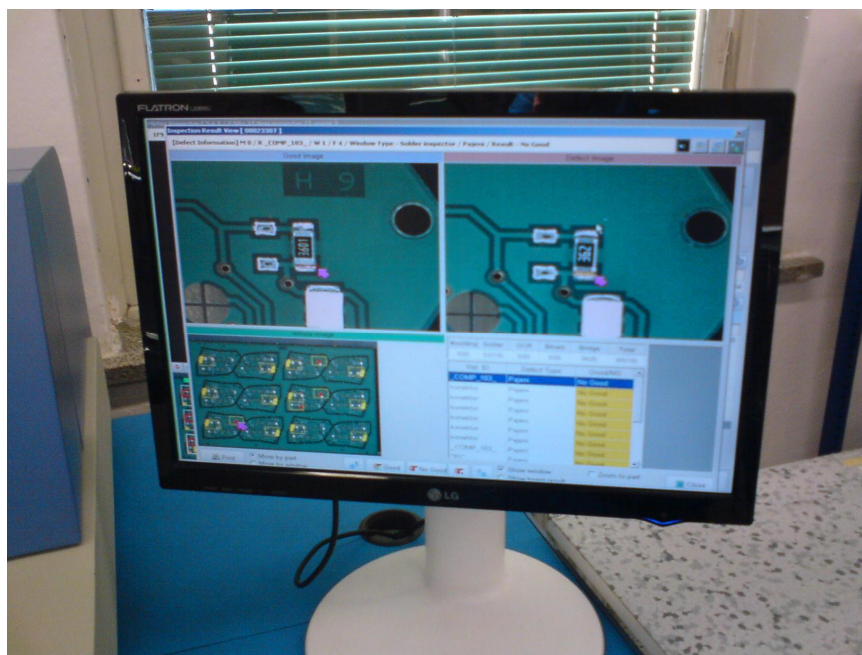
Obr.24. Tavicí pec HELLER 1809 ELX

Tato popsaná technologie pájení součástek na desky se používá při povrchové montáži SMD součástek.

### c) Optická kontrola na přístroji AOI (Automated Optical Inspection)

- Pomocí optického kontrolního přístroje AOI MIRTEC MV-2HT se kontroluje  
správnost osazené součástky i její elektrická hodnota  
správnost zapájení i dle porovnání odstínů šedivé barvy  
správnost pozice a orientace součástek





Obr.25. Pohled na monitor AOI kontroly



Obr. 26. Zařazení optické kontroly AOI MIRTEC MV-2HT

Operátor pŝ této kontrole oznaŝuje samolepicími ŝípkami eventuální chybné souŝástky nebo chybnŝ zapájené souŝástky. Po tomto oznaŝení odchází osazená deska na pracoviŝtŝ pro nŝich oprav.

#### d) Kontrola součástek na E-í testeru SPEA 3030

- na tomto elektrickém testeru se provádí elektrické testování funkčnosti osazené desky plošného spoje i měření jednotlivých osazených součástek, funkce spínání a rozpínání tlačítek, svit osazených LED diod (intenzita svitu, barva). Pro různé typy osazených desek se používají výměnné testovací adaptéry.



Obr 27. Pohled na E-tester SPEA 3030

#### e) Strojní a ruční dělení desek plošných spojů

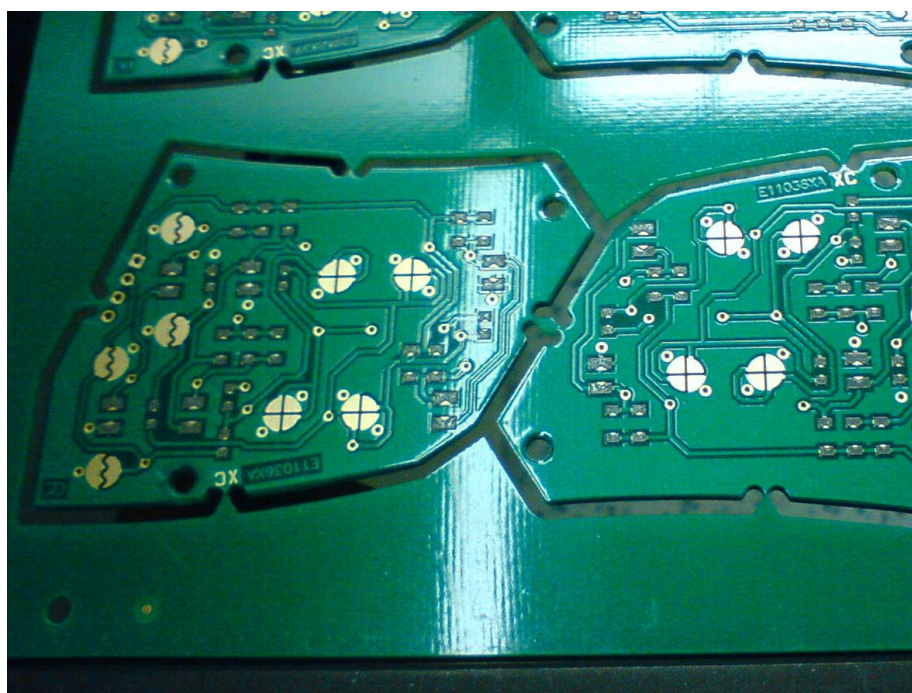
- ruční dělení desek se provádí v oblasti spojovacích místků
- strojní dělení se provádí v oblasti drážek v desce

Po rozdlení jednotlivých desek plošných spojů se tyto ukládají do transportního balení sloužícího pro interní přepravu v prostorách firmy.





Obr.28. Strojní šezal ka na oddělování desek

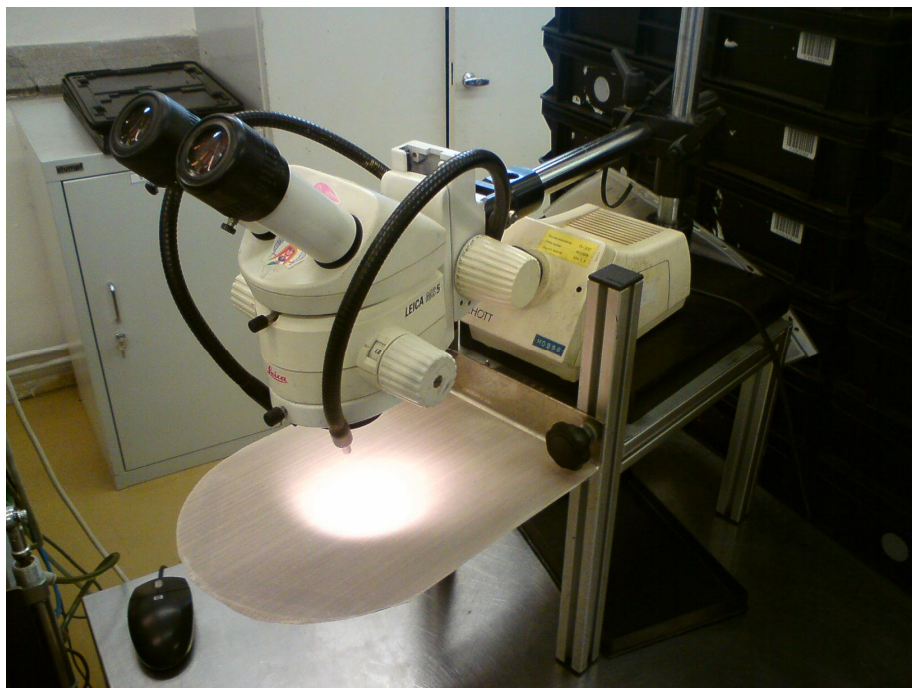


Obr.29. Mřížek pro oddělování desek

#### f) 100 % vizuální kontrola

- Všechny osazené desky plošných spojů jsou podrobeny 100% vizuální kontrole. Tato kontrola se provádí opěť pod stereo mikroskopem se dvou až desetinásobným zvětšením. PŘ posuzování pŘpadných nejasností nalezených

optickou kontrolou se postupuje podle kontrolních návodek. Tyto kontrolní návodky vycházejí z americké normy **IPC-A-610**.



Obr. 30. Stereo mikroskop

- Po 100 % kontrole následuje namátková výstupní kontrola. Tyto kontroly mŕže provádĕt pouze dobĚ zaĕkolený personál s urĕitými zkušenostmi, protože pĚ posuzování kvality pájených spojŕ jde ěasto o osobní posouzení a toto se mŕže liĝit mezi jednotlivými pracovníky.

#### **g) Balení hotových výrobkŕ**

- Balení tĕchto výrobkŕ se provádĕ podle balicího pĚedpisu pĚedem dohodnutĕho se zákazníkem.



Obr.31. Exportní balení osazených desek

### **Další technologie používané při pájení**

- **Strojní pájení** je pájení pomocí pájecí vlny
  - pájení předchází ruční osazování vývodových prvků
  - pájecí vlna se nastaví podle pájecího programu či parametrického listu
  - při tomto pájení je použita bezolovnatá pájka ve složení Sn 96 %, Ag 3,5 %, Cu 0,5 %.
  - jako tavidlo se používá Cobar-Rx-HT

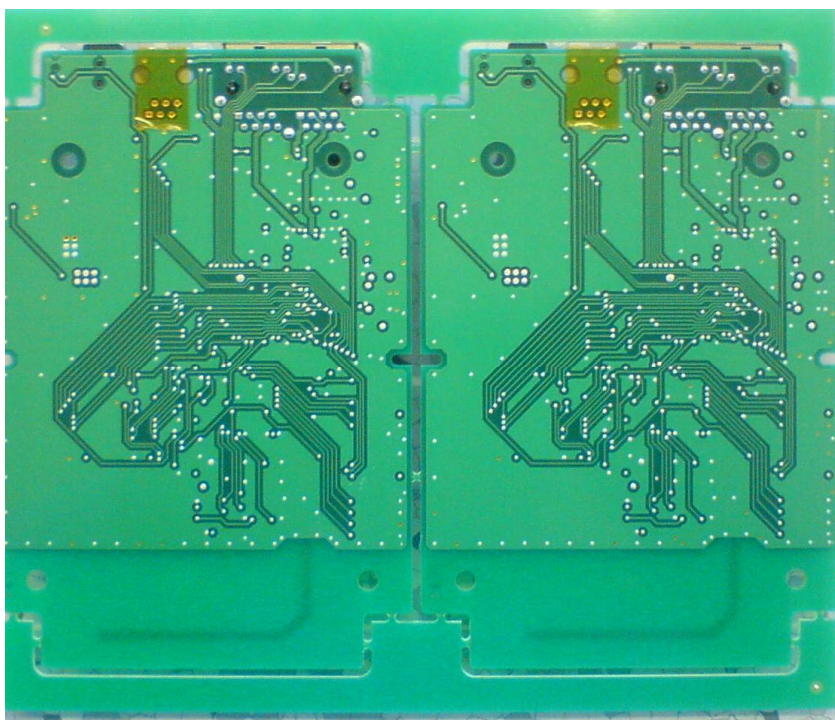
Jako nevýhoda používání bezolovnatých pájek v praxi se jeví i horší rozlévání pájky (horší vztlínavost např. v rozích součástek), vznik křehkého spoje i horší mechanická pevnost a používání vyšší teploty při pájení.





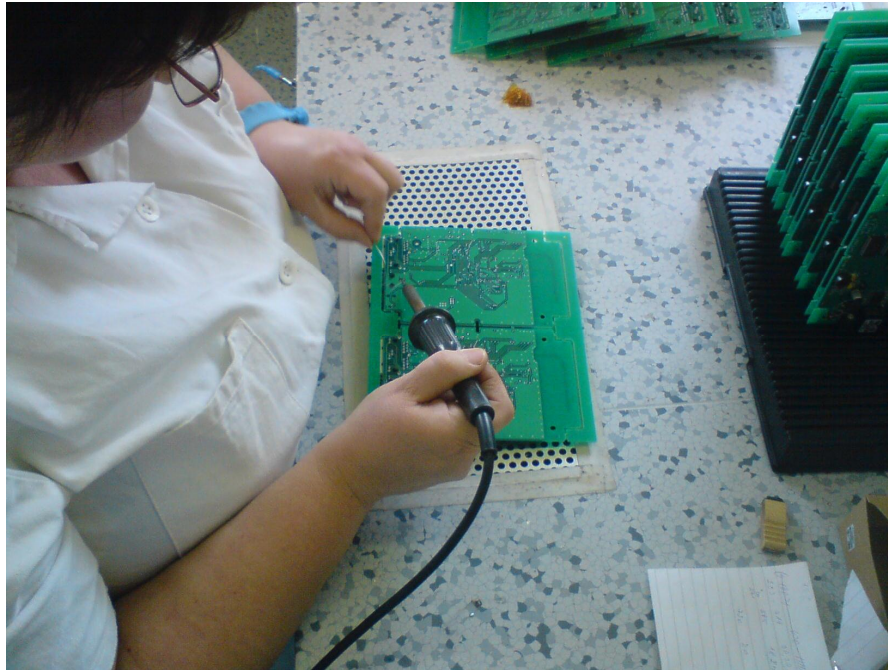
Obr.32. Pájecí vlna ERSA

- **Ruční pájení** vývodových prvků
  - ruční osazování komponentů
  - odstraňování krycích pásek
  - používá se bezolovnatá pájka SN 100 C
  - při ručním pájení se pracuje s různými přípravky



Obr.33. Deska s krycí páskou

- **Pracovní druhy oprav**
  - oprava desek po strojním pájení
  - pro odpájení součástek se používá horký vzduch a odsávací pumpy
  - pro ruční pájení se používají hrotové páječky a pájecí kleště



Obr.34. Použití hrotové páječky při ručním letování



Obr.35. Použití pumpy při ručním pájení





Obr.36. Nástroj pro ruční pájení - pájecí kleštl



Obr.37. Nástroj pro ruční pájení - odsávací

## 7. Závěr

Hlavním důvodem rychlých proměn výrobních procesů ve všech odvětvích průmyslu je nástup nových technologií. Toto se samozřejmě týká i průmyslu elektrotechnického. Z hlediska vývoje tohoto průmyslu lze vyjádřit především požadavky na potřebu zvyšování rychlosti zpracovávaného signálu, snižování hmotnosti a rozměrů, ale přitom také na snižování nákladů při zachování vysoké spolehlivosti a jakosti.

V polovodičové technice je to nutnost rozšíření teorie založené na pohyblivosti a vodivosti elektronů do oblasti fotonů, protože neustále dochází k výraznému růstu složitosti polovodičových integrovaných obvodů, při jejich neustálém zmenšování rozměrů.

V současné době probíhá řada průzkumů, jejichž cílem je předpovědět na základě objektivních informací další vývoj v oblasti mikroelektronických technologií, kde je pozornost zaměřena především na povrchovou montáž (Surface Mount Technology).

Jako nejaktuálnější se jeví následující tématické oblasti:

- konstrukce a montáž (osazování a pájení) Fine Pitch pouzder s velkým počtem vývodů
- nanášení pájecí pasty sítiskem pro součástky Fine Pitch



- použití bezoplachových pájecích past a tavidel bez nutnosti použití freonu
- odvod tepla a chlazení
- rentabilní výroba malých sérií
- dostupnost a testovatelnost součástí
- možnost automatického testování osazených substrátů
- snížení nákladů (zařízení, materiály)
- výroba cenově konkurenceschopných multičipových modulů

Dalším pohledem na jednotlivé oblasti lze zjistit, že vedle technických požadavků hrají podstatnou úlohu i požadavky ekonomické, což potvrzuje tu skutečnost, že každá výrobní činnost směřuje ke konečnému ekonomickému efektu.

Stále významnější role v oblasti výroby hraje ekologické hledisko. V elektrotechnických technologiích je pozornost zaměřena na tři oblasti, jimiž jsou: vyloučení používání freonu, omezení používání tiskových látek a omezení používání olova, jež je řazeno mezi 17 nejškodlivějších chemických látek na světě

V oblasti desek plošných spojů dominují neustále pro levné elektronické přístroje kompozit FR4 (skelná tkanina + epoxidová pryskyřice). Tento kompozit je však stále více nahrazován flexibilními deskami z polyamidu. Vývoj pokračuje také v oblasti vodivých polymerů a kapalných krystalů, avšak zatím brání jejich hromadnému nasazení jejich cena.

V oblasti diagnostiky se provádí neustále zdokonalování některých stávajících metod a dochází také k vývoji metod nových a to hlavně nedestruktivních. Neustále ve větší míře se bude uplatňovat technika rentgenové radiografie a rastrovací akustické mikroskopie a tomografie.

## **Použití informační zdroje**

### **Užitá literatura**

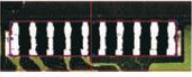
- [1] Abel, M. : SMT Technologie povrchové montáže, Pardubice, Platan, 2000
- [2] Szendiuch, I. : Mikroelektronické montážní technologie, Brno, VUT, 1997
- [3] Mach, P. i Školil, V. i Urbánek, J. : Montáž v elektronice, Praha, VUT, 2001
- [4] Abel, M. : Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce, Pardubice, Platan, 2000
- [5] Bařa, P. i Starý, J. : Plošné spoje a povrchová montáž, Brno, VUT
- [6] Vrba, K. a kol. : Konstrukce elektronických zařízení i návrh plošných spojů, Brno, VUT

### **Užití elektronické informační zdroje**

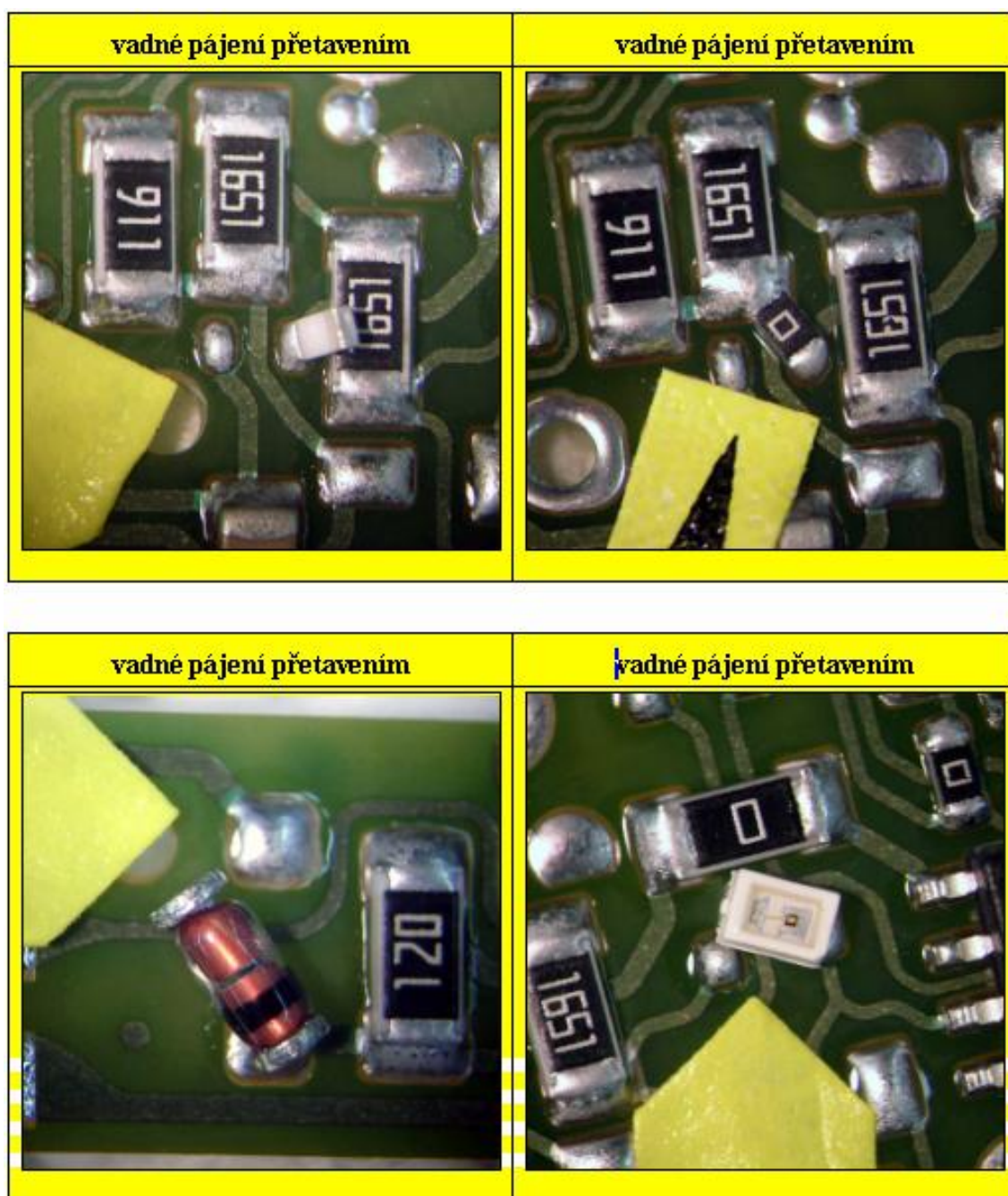
- [7] [http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat\\_tech/modules/etask/login.php?kod\\_kurzu=kat\\_tech\\_9757](http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat_tech/modules/etask/login.php?kod_kurzu=kat_tech_9757)

## Přílohy

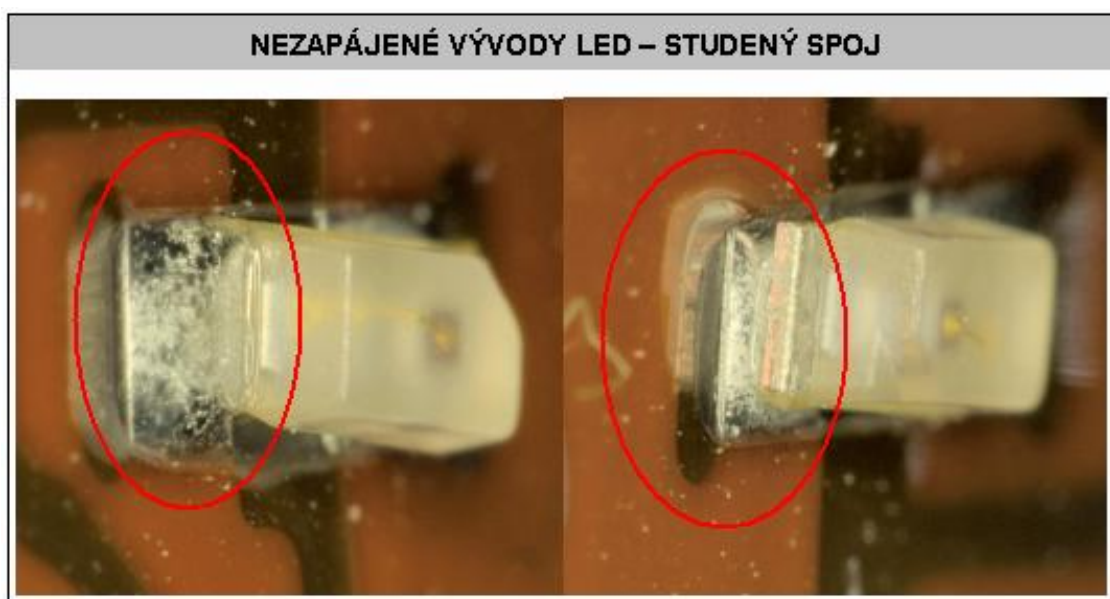
Příklady zjištěných chyb na stolním přístroji pro automatickou optickou kontrolu  
MIRTEC MV-2HT

|                               | <div> <div>správně</div> <div>         </div> </div> |                     |               |              |          |                  |         |          |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|--------------|----------|------------------|---------|----------|
|                               | <div> <div>špatně</div> <div>         </div> </div>  |                     |               |              |          |                  |         |          |
|                               | Nesprávná součástka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Chybějící součástka | Nevyrovnanost | Můstek pájky | Polarita | Nedostatek pájky | Otočení | Náhrobek |
| Standardní čip                | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             |              |          | ●                | ●       | ●        |
| Tranzistor                    | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             | ●            | ●        | ●                | ●       | ●        |
| Tantalový kondenzátor / dioda | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             |              | ●        | ●                | ●       | ●        |
| MELF                          | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             |              |          | ●                | ●       | ●        |
| Pole rezistorů                | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             | ●            | ●        | ●                | ●       | ●        |
| Elektrolytický kondenzátor    | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             |              | ●        | ●                | ●       | ●        |
| Spínač                        | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             | ●            | ●        | ●                | ●       | ●        |
| SOP                           | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             | ●            | ●        | ●                | ●       | ●        |
| QFP                           | ●                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ●                   | ●             | ●            | ●        | ●                | ●       | ●        |

Příklad vad odhalených při optické kontrole AOI i ukázka z praxe

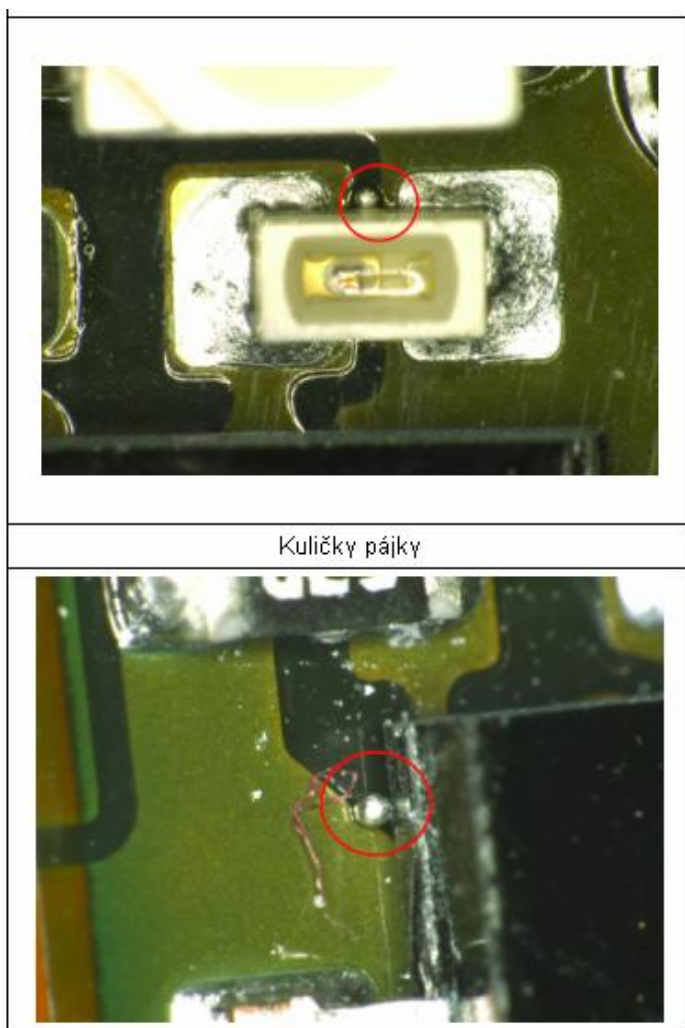


## Příklady chyb vznikajících při pájení 1

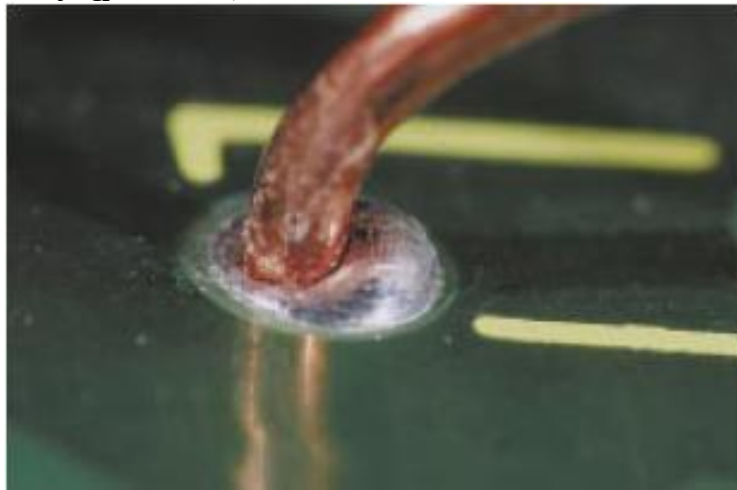


## Příklady chyb vznikajících při pájení 2

Kuličky pájky



Příklady chyb vznikajících při pájení 3  
Pájený spoj vykazuje špatné smálení



Příklady chyb vznikajících při pájení 4  
Známky nalomení mezi vývodem a kulečkou pájky

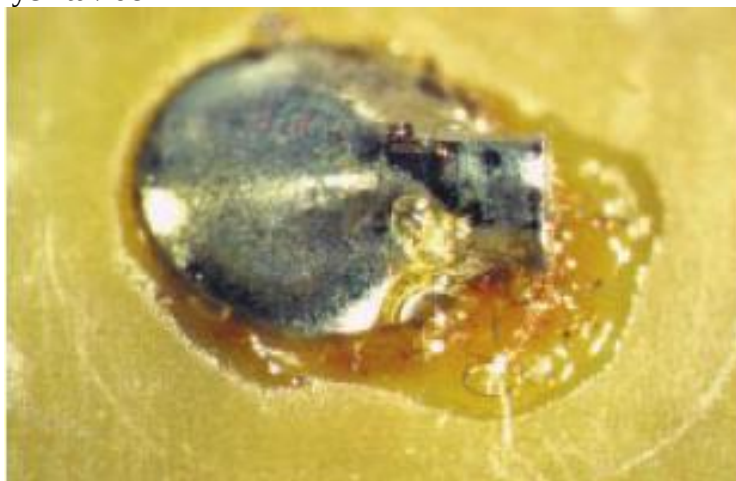


Příklady chyb vznikajících při pájení 5  
Nadměrné množství pájky i vytvoření vodivého můstku

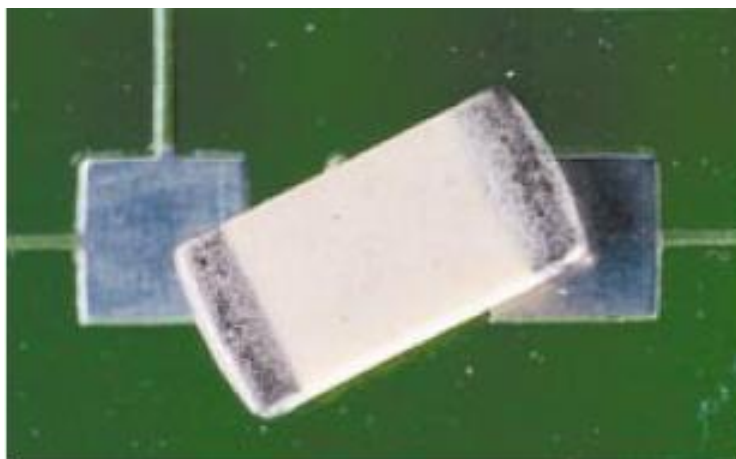




Příklady chyb vznikajících při pájení 6  
Zbytky čistitelných tavidel



Příklady chyb vznikajících při pájení 7  
Boční posun bezvývodové součástky



Příklady chyb vznikajících při pájení 8  
Výplň pájky zasahuje na tělo součástky



Ukázka připojení IPU pomocí mikrodrátů 40x zvětšeno

