

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY

A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOMATICKÉ STROJNÍ OSAZOVÁNÍ

DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr KUČERA
Osobní číslo: E11B0051K
Studijní program: B2644 Aplikovaná elektrotechnika
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika
Název tématu: Automatické strojní osazování desek plošných spojů
Zadávající katedra: Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište principy činnosti automatů pro osazování elektronických součástek na deskách plošných spojů a jejich charakteristické funkční a užité vlastnosti.
 2. Popište strukturu automatizované osazovací linky ve výrobním závodě.
 3. Popište základní kritéria návrhu pracovního cyklu strojního osazovacího automatu a způsoby jeho optimalizace.
 4. Zmapujte defekty vznikající při strojním osazování elektronických součástek a popište příčiny jejich vzniku.
-

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Kahle, P., Starý, J. Plošné spoje a povrchová montáž. VUT v Brně, 2003.
2. Yilmaz, I. O. Development and Evaluation of Setup Strategies in Printed Circuit Board Assembly. Springer, 2008. ISBN 3834998729.
3. Surface Mount Equipment Characterization. IPC-9850, 2001 .
4. Ayob, Masri. Optimisation of Surface Mount Device Placement Machine in Printed Circuit Board Assembly. University of Nottingham, 2005.
5. Elektronické informační zdroje, firemní literatura.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Silvan Pretl


Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce poskytuje všeobecný základní popis SMD osazovací linky, nastavení jednotlivých strojů konkrétní linky a práci s nimi, potřebné materiály a pomůcky, přehled běžných chyb a jejich příčin.

Klíčová slova

SMD osazovací linka, deska plošných spojů, tavidla, pájecí slitina, pájecí pasta, vady pájení, teplotní profil

Abstract

The master of these present is basic description of SMD assembly line, setting of machines used in one described line and work with them, requested materials and tools, overview of usual mistakes and their causes.

Key words

SMD assembly line, printed circuit board, flux, soldering paste, soldering mistakes, thermoprofile

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

V Plzni dne 6.6.2014

Petr Kučera

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Silvanu Pretlovi za přínosné rady a připomínky.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 SMD OSAZOVACÍ LINKY, TYPY, PROVEDENÍ	11
1.1 NÁVRH OSAZOVACÍ LINKY.....	13
1.1.1 <i>Varianty použití strojového vybavení</i>	14
1.2 OPTIMALIZACE A ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY	15
1.2.1 <i>Nanášení pájecí pasty</i>	15
1.2.2 <i>Osazovací stroje</i>	15
1.2.3 <i>Přetavovací pece</i>	16
2 JEDNOTLIVÉ STROJE A JEJICH FUNKCE	17
2.1 STROJ NA NANÁŠENÍ PÁJECÍ PASTY (DEK 265).....	17
2.2 STROJ NA NANÁŠENÍ SMD LEPIDLA (SIEMENS HS 180).....	22
2.3 OSAZOVACÍ AUTOMATY (SIEMENS SIPLACE S 23)	23
2.3.1 <i>Zásobníky se součástkami</i>	24
2.3.2 <i>Zařízení pro kontrolu správné pozice</i>	26
2.3.3 <i>Osazovací hlava</i>	26
2.4 PŘETAVOVACÍ PEC (SMT 460)	31
3 PŘÍPRAVKY, NÁSTROJE A MATERIÁLY	35
3.1 ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ TERMOPROFILU (MTP 05)	35
3.2 TEPLOMĚR NA MĚŘENÍ TEPLoty PÁJECÍ PASTY (VOLT CRAFT PL 100 T).....	35
3.3 PÁJECÍ PASTA (BALVER ZINN SN 96)	36
3.4 SMD LEPIDLO (PERMACOL)	37
4 NEJBĚŽNĚJŠÍ CHYBY A JEJICH OBVYKLÉ PŘÍČINY	39
4.1 CHYBY.....	39
4.1.1 <i>Tombstoning</i>	39
4.1.2 <i>Billboarding</i>	40
4.1.3 <i>Osazení spodní stranou nahoru</i>	40
4.1.4 <i>Vývody součástky mimo příslušné pájecí plošky</i>	41
4.1.5 <i>Nedostatek pájecí slitiny na vývodech po přetavení</i>	42
4.1.6 <i>Zkrat mezi jednotlivými vývody vícevývodové součástky</i>	42
4.1.7 <i>Nedostatečné přetavení pájecí slitiny</i>	43
ZÁVĚR	44
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	45

Seznam symbolů a zkratk

DPS - deska plošných spojů

SMD - povrchově montované součástky, pájené na plochu, z angl. *Surface mounting devices*

AOI - automatická optická inspekce

ESD - ochrana proti výboji statické elektřiny

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na seznámení se s automatickým strojním osazováním desek plošných spojů, uvedením do problematiky nastavení jednotlivých strojů konkrétní linky, seznámení s potřebnými materiály a pomůckami, přehledem běžných chyb a jejich obvyklými příčinami.

Text je rozdělen do čtyř částí: první se zabývá představením osazovacích linek a jejich provedeními, včetně jejich návrhů, druhá seznamuje s jednotlivými stroji konkrétní linky a jejich funkcí, a přibližuje nastavení těchto strojů, třetí ukazuje přípravky, nástroje a materiály a ve čtvrté je přehled běžných chyb pájení i s obvyklou příčinou.

1 SMD osazovací linky, typy, provedení

SMD osazovací linky přišly jako další logický krok ve velmi vysokém tempu růstu výroby elektronických zařízení, ruku v ruce s tlakem na zmenšování vlastní elektroniky, což mimo energetické úspory přineslo i výrazně snížené prostorové nároky díky miniaturizaci jednotlivých součástek. Ve výsledku tak došlo k úsporám, ale s vynucenou změnou výrobních postupů, jelikož stávající ruční způsoby osazování se staly ekonomicky neúnosnými.

Byly vyvinuty osazovací automaty, které dokázaly opakovaně osazovat miniaturní součástky při přesnosti v řádech desetin milimetrů. Takto osazované součástky už ale nebylo možno pájet ručně, ať již z důvodu miniaturních sil, potřebných k posunutí součástky ze správné pozice, či z prostorových důvodů, kdy se již nebylo možno dostat s hrotem páječky na potřebné místo bez rizika ovlivnění až poničení sousedních součástek. Tudíž bylo zavedeno pájení přetavením, čili rozehrátím aplikované pájecí slitiny při průchodu pecí, jeho samovolném navzlínání na vývody součástky, a tím zapájení. Vyvstal tím ovšem problém jak dosáhnout nanesení pájecí slitiny na potřebná místa v potřebném množství při velmi stísněných prostorových poměrech. Jelikož klasická aplikace trubičkové pájecí slitiny byla rozměrově neakceptovatelná, přišlo nanášení pájecí slitiny ve formě pasty. Tímto se dospělo do stavu, kdy jsou k dispozici stroje k aplikaci pájecí slitiny ve formě pájecí pasty, osazovací automat a přetavovací pec. Vzhledem k výkonnosti těchto strojů a prevenci vzniku škod díky transportu mezi nimi byly jednotlivé stroje provedeny jako automaty s pásovou dopravou DPS, čímž se minimalizoval vliv lidského faktoru v negativním smyslu na minimum.

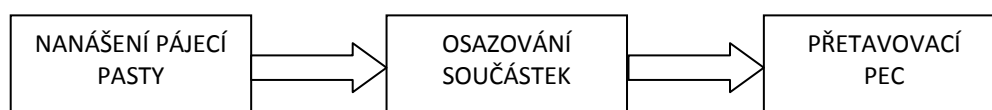
Po shrnutí dosavadních fakt vyjde, že SMD osazovací linka je soustava strojů, vzájemně propojených dopravníkem, s automatickou vzájemnou počítačovou komunikací, kde na jedné straně vstupují neosazené DPS, a na druhé straně vycházejí plně osazené a zapájené DPS, připravené k dalším operacím. Nárůst produktivity je geometrický.

SMD osazovací linky mohou mít různá konstrukční řešení, spočívajících zejména v umístění a vzájemném propojení jednotlivých potřebných strojů. Nejstarším je liniové provedení, kde jednotlivé stroje jsou seřazeny za sebou v logickém pořadí navazujících kroků, a DPS tudy prochází jedna za druhou. Maximální využití je zde ale limitováno nejpomalejším strojem.

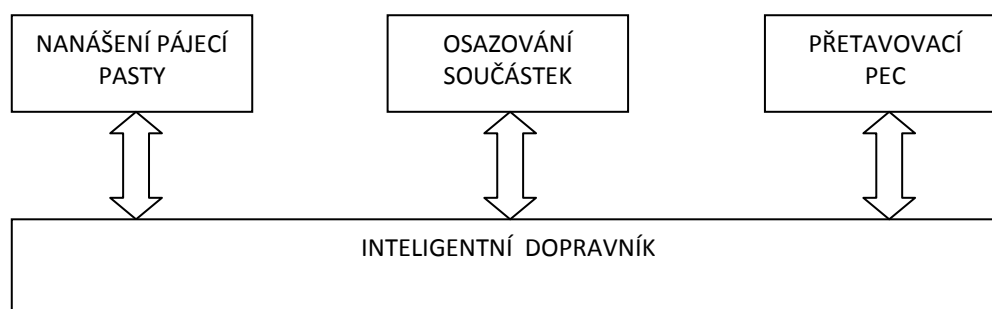


Obr. 1 Osazovací linka v řazení za sebou

Vzhledem k omezením, daným maximální technologickou rychlostí nejpomalejšího stroje, bylo použito řazení strojů s paralelním dopravníkem. Pomalejší stroje mohou být tím pádem umístěny vícekrát, a tím lze docílit maximálního využití všech instalovaných strojů. Zde jsou stroje umístěny vedle sebe, ale nejsou seřazeny za sebou v lince, pouze jsou vzájemně propojeny paralelním dopravníkem. Takto zde vzniká možnost mnohem větší variability v jejich využití a zároveň narůstá i výrobní kapacita.



Obr. 2 Osazovací linka v řazení za sebou



Obr. 3 Osazovací linka v paralelním řazení

In-line osazovací linka (v řazení za sebou) je jednodušší jak z hlediska návrhu linky, tak i pro následný provoz. Při její konstrukci je nezbytné vzít v úvahu maximální rozměry používaných DPS a přizpůsobit jim pořizované strojní vybavení. Vzhledem k výrobnímu postupu, kdy je umožněno osazovat pouze jeden typ výrobku zároveň na celé lince, není nutno řešit ostatní možné aspekty. Osazené DPS lze označovat kódem až na konci celého cyklu, což znamená zjednodušení a tedy zlevnění.

Osazovací linka v paralelním uspořádání je při jejím navrhování daleko náročnější. Zde nestačí zohlednit pouze maximální rozměry DPS. Jelikož zde lze a je žádoucí zároveň osazovat více různých typů výrobků pro maximální možné využití strojového vybavení, je třeba buď standardizovat společné procesy nebo mít adaptabilní jednotlivé stroje, což je daleko nákladnější vzhledem k potřebě zejména času k adaptaci stroje na konkrétní typ výrobku a kontrolu správného nastavení. Naráží se zde zejména na požadavek mít pokud možno stejné vnější rozměry DPS pro všechny typy výrobků a stejný termoprofil pro možnost osazovat v podstatě libovolné kombinace různých typů výrobků zároveň. Dále je zde nemožné označování výrobků až na konci celého cyklu, mohlo by dojít k záměně, ale zejména by osazovací linka nebyla schopna správně přiřadit přijíždějící DPS k typu výrobku, což by vedlo k vadám až nemožnosti provedení kroku procesu. Je zde nutnost mít DPS označeny kódem již před nanášením pájecí pasty, což znamená stroj navíc, a dále mít i čtečku před každým strojem pro jednoznačnou identifikaci a přiřazení přijíždějící DPS.

Otázka volby systému uspořádání osazovací linky je tedy závislá na mnoha okolnostech, jež jsou dohromady vstupním podkladem pro ekonomické zhodnocení obou variant.

1.1 Návrh osazovací linky

Základními podklady pro návrh osazovací linky jsou:

- předpokládaná / požadovaná výrobní kapacita
- předpokládaná / požadovaná variabilita výroby (počet vyráběných druhů DPS)

Členění podle výrobní kapacity:

- vysoká kapacita
- nižší kapacita

Členění podle variability výroby:

- vysoká variabilita výroby
- nižší variabilita výroby

1.1.1 Varianty použití strojového vybavení

1.1.1.1 Vysoká výrobní kapacita a vysoká variabilita výroby

- klade vysoké nároky na strojní vybavení, kdy je třeba použít výkonné nanášecí pájecí pasty a výkonné osazovací stroje, s minimální možností změn během cyklu bez změny nástrojů
- nanášení pájecí pasty je realizováno sítotiskem nebo šablonovým tiskem, s nutností výroby síta nebo šablony předem pro všechny uvažované druhy DPS
- osazovací stroje jsou použity se simultánní osazovací hlavou nebo „chip-shootery“, s nutností přípravy potřebných nástrojů předem pro všechny uvažované druhy DPS; nelze je použít v případě požadavku vysoké přesnosti osazování - pak je nutno využít kruhové hlavy na dvojportálových strojích
- přetavovací pece - při volbě druhů osazovaných DPS na jedné lince je nutno brát zřetel na požadovaný termoprofil pro přetavovací pece (čili nelze na jedné lince osazovat různé druhy DPS s rozdílnými požadovanými termoprofily)
- řazení strojů je do několika in-line nebo paralelních linek

1.1.1.2 Vysoká výrobní kapacita a nízká variabilita výroby

- obdoba předchozí varianty, avšak levnější díky malému počtu druhů a z toho plynoucího malého počtu nástrojů
- přetavovací pece - při volbě druhů osazovaných DPS na jedné lince je nutno brát zřetel na požadovaný termoprofil pro přetavovací pece
- řazení strojů může být v podobě několika in-line linek nebo jedné paralelní linky

1.1.1.3 Nízká výrobní kapacita a vysoká variabilita výroby

- potřebné jsou stroje s možností jednoduché změny druhu výroby
- pro nanášení pájecí pasty jsou vhodné dispenzery - nejsou nutné žádné speciální nástroje, změna nanášecího plánu se provádí změnou počítačového programu
- pro osazování jsou vhodné stroje s jednoduchou či kruhovou osazovací hlavou typu „pick-and-place“

- přetavovací pec - bez zvláštních nároků
- řazení strojů je v podobě in-line linky

1.1.1.4 Nízká výrobní kapacita a nízká variabilita výroby

- zde už by se dalo uvažovat o využití nelinkových strojů, typická je zde prototypová a kusová výroba
- pro nanášení pájecí pasty jsou vhodné dispenzery - nejsou nutné žádné speciální nástroje
- pro osazování jsou vhodné jednoduché osazovací hlavy typu „pick-and-place“
- přetavovací pec - bez zvláštních nároků, lze uvažovat i o využití pájení v parách, laserem nebo topnými deskami

1.2 Optimalizace a zvýšení produktivity

Nezbytnou součástí návrhu musí být i zjištění časové náročnosti cyklu jedné DPS na jednotlivých strojích, a to včetně přetavovací pece. Z tohoto vyplyne nejpomalejší stroj v sestavě. Dále jsou představeny různé možnosti zvýšení produktivity.

1.2.1 Nanášení pájecí pasty

U nanášení pájecí pasty je zvýšení rychlosti bez negativního vlivu na kvalitu obtížné, zvýšení výkonu se zde obvykle řeší přidáním dalšího stroje se sítotiskem nebo šablonovým tiskem.

1.2.2 Osazovací stroje

Zásadního navýšení produktivity se dosahuje přidáním dalšího osazovacího stroje, vždy s ohledem na výkon zásadních omezujících strojů (nanášení pájecí pasty, přetavovací pec). Pokud to požadovaná osazovací přesnost dovoluje, lze „pick-and-place“ stroje nahradit rychlejšími „chip-shootery“ nebo simultánními osazovacími stroji.

Částečného zvýšení produktivity lze dosáhnout optimalizací chodu osazovacích hlav a jejich zásobování součástkami. V podstatě vyloučené je u jednohlavého stroje typu „pick-and-place“, kde by se dalo pouze drobně změnit nastavení rychlosti odebrání součástek a běhu hlavy. U dvojhavého stroje typu „pick-and-place“ lze stroj částečně zrychlit časově souměrným rozdělením práce mezi obě hlavy tak, aby obě pracovaly po pokud možno stejný čas (pokud tato optimalizace ještě nebyla provedena). U „chip-shooterů“ lze zkusit ještě více

minimalizovat nutné pohyby s DPS. U simultánních osazovacích strojů lze zvýšit počet současně osazovaných součástek, ovšem s hranicí danou minimální roztečí sacích trysek nebo podavačů.

1.2.3 Přetavovací pece

U přetavovací pece kapacitu obvykle zvýšit nelze s ohledem na požadovaný termoprofil, kterým je již určena maximální kapacita (rychlostí pásu a minimálními rozestupy přetavovaných DPS mezi sebou). Pokud přetavovací pec umožňuje přidat paralelní pás ke stávajícímu, lze takto zvýšit kapacitu, s nutností kontroly dodržení požadovaného termoprofilu. Jinak nezbývá jiná možnost než přidat další přetavovací pec.

2 Jednotlivé stroje a jejich funkce

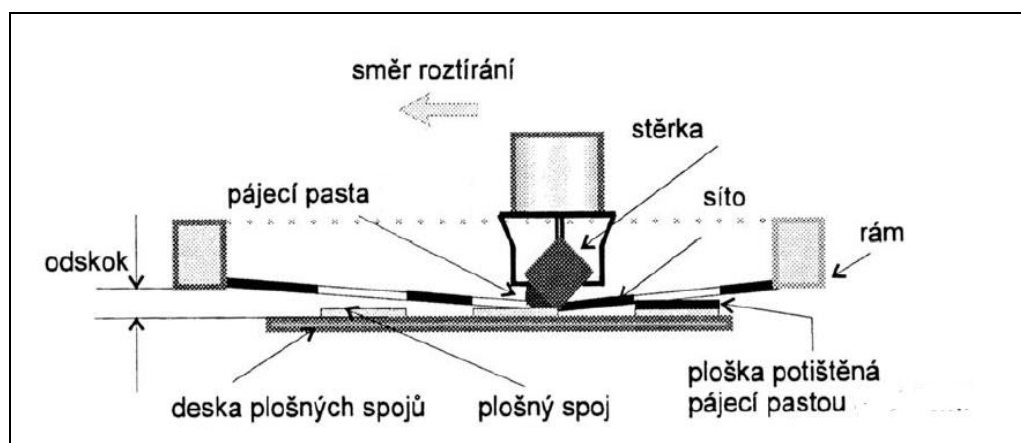
2.1 Stroj na nanášení pájecí pasty (DEK 265)

Tento stroj je určen k automatickému nanesení pájecí pasty ve stanoveném množství na stanovená místa DPS. Bez tohoto kroku by nebylo čím osazené součástky zapájet.

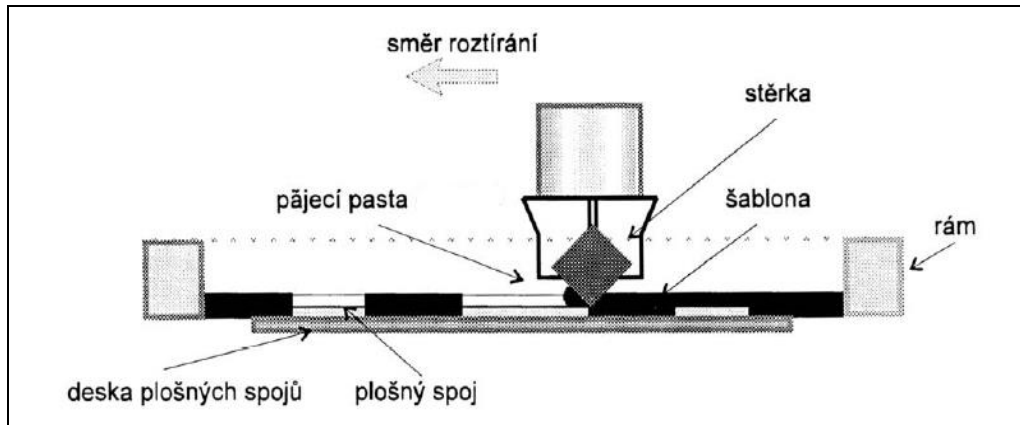


Obr. 4 Stroj na nanášení pájecí pasty

Možností nanesení pájecí pasty je více, mezi běžně používané patří stírání přes šablonu, sítotisk nebo dávkování.



Obr. 5 Nanášení pájecí pasty sítotiskem

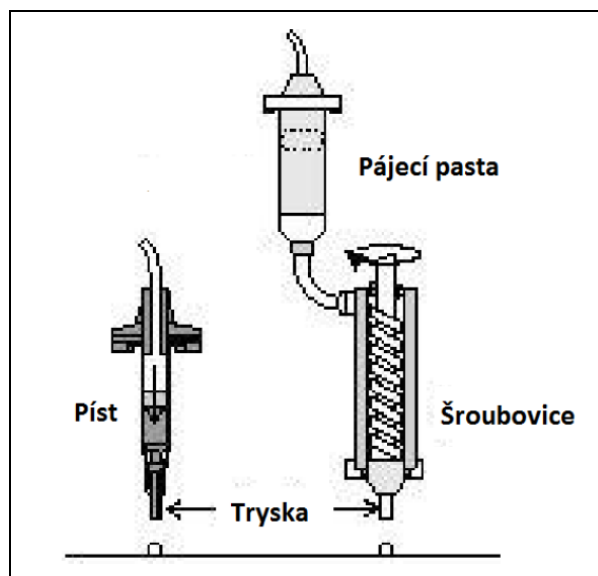


Obr. 6 Nanášení pájecí pasty šablonovým tiskem

Šablonový tisk a sítotisk jsou na obdobné bázi, kdy se nanáší pájecí pasta pouze v místech otvorů v masce (šabloně nebo síti), liší se způsobem vytvoření masky:

- šablona je kovový plát s otvory vytvořenými vypálením laserem, vznikne negativní maska
- sítotisk je síť, namočená do fotocitlivého materiálu, následně osvětlená na místech, kde má fotocitlivý materiál zůstat, čímž materiál vytvrdne, a ostatní neosvětlený materiál je odstraněn, čímž vznikne obdobně jako u šablony negativní maska

Dávkování se provádí vytlačení odměřené dávky pájecí pasty na stanovené místo na principu injekční stříkačky, např. stlačeným vzduchem nebo šroubovým dispenzerem.



Obr. 7 Nanášení pájecí pasty dávkováním

Porovnání jednotlivých systémů:

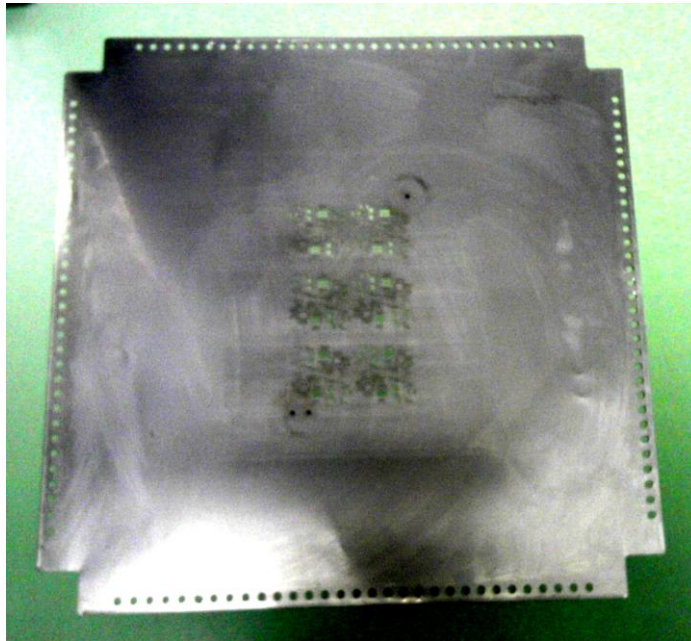
- šablonový tisk a sítotisk jsou variantami jednoho typu nanášení pájecí pasty, kdy sítotisk je starší technikou; obě vyžadují vytvoření negativní masky předem, mají ztrátové nanášení pájecí pasty díky roztírání, neumožňují větší regulace množství nanesené pasty, změny místa nanášení, je nutno je v pravidelných intervalech čistit - ztráty materiálu i času, potřebují pro svoji činnost speciální stroj

- dávkovací nanášení pájecí pasty je postaveno na zcela odlišném základě; je velmi flexibilní, protože nevyžaduje žádnou masku předem - místa jsou určena počítači programem s uvedením požadované dávky, nanášení pájecí pasty je oproti předchozím v podstatě bezztrátové, kdykoliv lze měnit místo i množství nanášené pájecí pasty, místo pravidelného čištění velké šablony se čistí malá tryska, stroj se dá použít i pro nanášení SMD lepidla; na druhou stranu při velkém počtu míst a množství nanášené pasty může být pomalejší než předchozí techniky

Pro stanovení typu pořizovaného stroje je třeba zohlednit zejména množství výrob a výrobků a dále v neposlední řadě i častost změn typů výrobků.

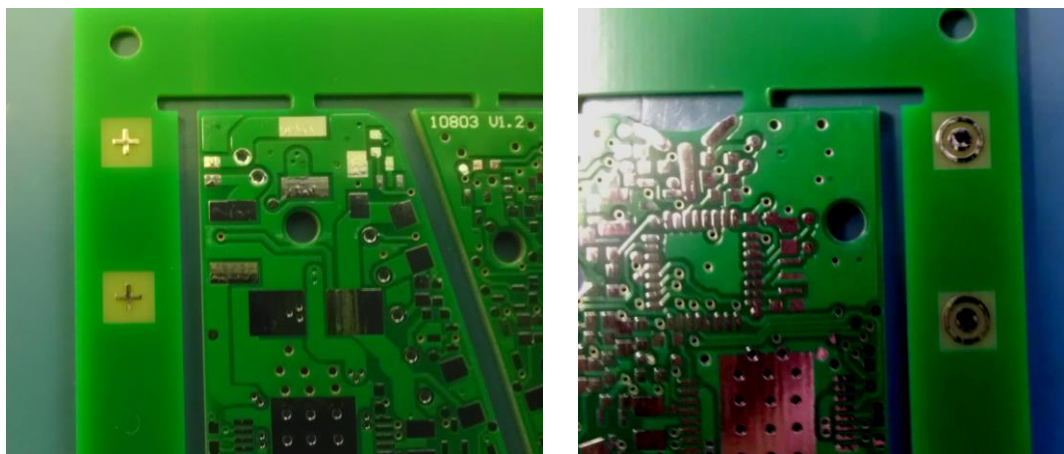
V popisované osazovací lince je použit šablonový tisk. Konstruktivně jde o velmi jednoduchý systém, kde vložená DPS je mechanicky zabezpečena a podepřena, ze strany pájecích plošek je k ní přitisknuta šablona a pomocí stíracího nože je nanášena pájecí pasta protlačením otvory v šabloně na DPS. Tloušťka šablony se pohybuje v rozmezí od 120 do 160 μm . Tloušťkou šablony lze regulovat nahrubo množství aplikované pájecí pasty - určuje se tím prvotní výška nanesené pájecí pasty.

Pokud se ovšem celý stroj poněkud rozebere, dojde se od jednoduchého principu k docela složitému zařízení. Vzhledem k velmi malým rozměrům pájecích plošek, a zejména mezer mezi nimi (dnes zcela běžně v řádu desetin mm), musí být pokaždé šablona a DPS velmi precizně vzájemně zarovnané. Vůči dopravníkům se DPS obvykle mechanicky zabezpečí v pojezdu, a poloha se vzájemně vyladí pomocí speciálních sesazovacích značek, zvaných fiduciály. Ty mohou být v provedení jednoho nebo 2 křížů, koleček nebo mezikruží - viz obr. 9 a 10.

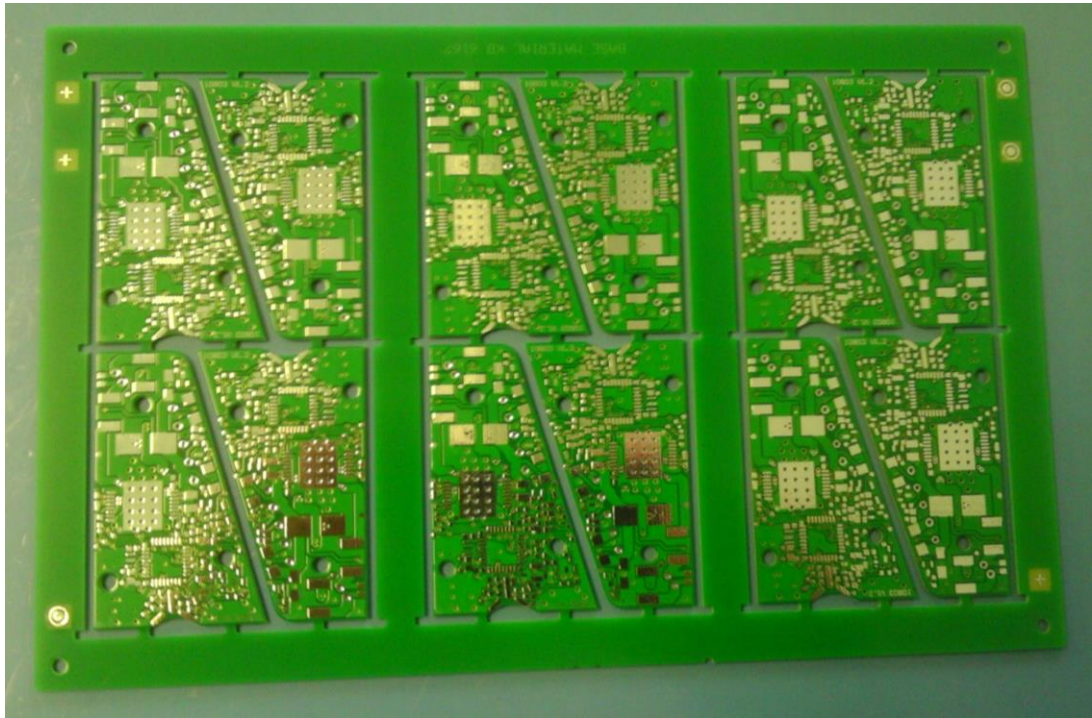


Obr. 8 Kovová šablona na nanášení pájecí pasty

Obvykle bývají na jedné DPS použity 2 druhy symbolů tak, že stejné symboly jsou úhlopříčně naproti sobě na DPS, s tím rozdílem, že v jednom rohu je symbol zdvojený - jednoznačně je tak stanovena orientace DPS (viz obr. 10).



Obr. 9a) a b) Sesazovací značky - detailní pohled



Obr. 10 Sesazovací značky na panelu DPS

Tyto značky se umísťují na každou DPS a ve stejných pozicích i na šablonu, aby tak stroj mohl sesadit jejich vzájemnou pozici co nejpřesněji. Postup je velmi jednoduchý - DPS přijede na pásu na určené místo, mechanicky se zabezpečí lehkým vysunutím bočních ližin do boků DPS, zapne se kamera, která snímá zároveň sesazovací značky na DPS i na šabloně, a pohybem šablony se snaží obě sesazovací značky co nejpřesněji vzájemně zarovnat. Poté stroj přitlačí zarovnanou šablonu na zabezpečenou DPS a zahájí nanášení pájecí pasty na šablonu. Nanáší se pohybem vodorovné stěrky - stíracího nože, se zásobou pájecí pasty přes všechny otvory šablony. Přítlakem šablony lze regulovat jemněji výšku a tím i množství nanesené pájecí pasty, kdy vyšší přítlak způsobí „vytlačení“ většího množství pájecí pasty z otvorů šablony, a tím menší množství nanesené pájecí pasty, než nižší přítlak, který pastu de facto pouze „dorovná“ v otvorech šablony na tloušťku šablony, a v otvorech tím pádem zůstane víc pájecí pasty.

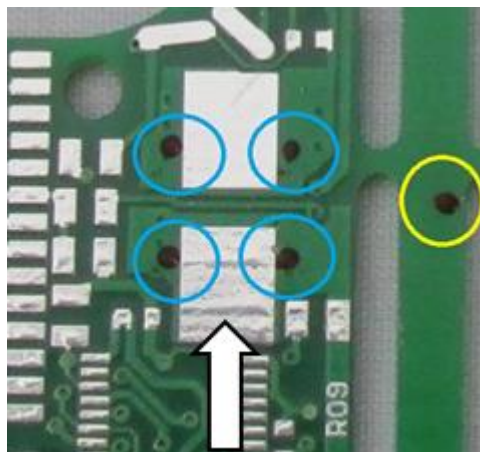
Neméně důležitou nastavovanou hodnotou, jako je přítlak stahovacího nože a rychlost nanášení, je i rychlost odtrhu DPS s nanesenou pastou od šablony. Pokud je totiž rychlost odtrhu příliš nízká nebo vysoká, dochází obvykle k zachycení jednotlivých plošek nanesené pasty na šabloně a jejich odtržení z DPS. Tímto je DPS nezpůsobilá dalšího procesu, neboť bez pasty nelze řádně usadit součástky (nebudou držet na osazené pozici, protože tavidlo

v pájecí pastě působí i jako lepidlo k přidržení součástek na místě) ani zapájet. V popisovaném stroji se přítlak stíracího nože pohybuje v rozmezí 4 - 5 atm., rychlost nanášení okolo 30 mm/sec., rychlost odtrhu okolo 0,3 mm/sec, pájecí pasta je v provedení s průměrem kuliček pájecí slitiny mezi 25 a 45 μm .

Po nanesení pasty a vyjetí DPS ze stroje je obvyklá kontrola nanesení pájecí pasty, ať již vizuálně operátorem či automaticky pomocí kamer nebo AOI.

2.2 Stroj na nanášení SMD lepidla (SIEMENS HS 180)

Tento stroj je jednodušší obdobou předchozího zařízení, a je určen k nanesení SMD lepidla na požadované pozice.



Obr. 11 Nanesené SMD lepidlo

Principem je tento stroj poziční automat, který ustaví trysku se SMD lepidlem nad požadované místo na DPS, a následně provede aplikaci lepidla jeho vytlačněním ze zásobníku. Vytlačněním se dávkuje požadované množství. Vytlačování lze provádět např. pneumaticky pístkem, nebo elektricky šnekem. DPS se pro zajištění stejné výchozí polohy zabezpečuje obdobně jako v předchozím stroji.



Obr. 12 Stroj na nanášení SMD lepidla

2.3 Osazovací automaty (SIEMENS SIPLACE S 23)

Osazovací automat je složitější a výkonnější obdoba předchozího stroje. Jeho prací je vyzvednout správnou součástku ze správného zásobníku, zkontrolovat její správnou polohu a usadit ji na požadované místo na DPS.

Stroj se skládá z části se zásobníky se součástkami, kontrolního zařízení pro kontrolu pozice a osazovacích hlav.

2.3.1 Zásobníky se součástkami

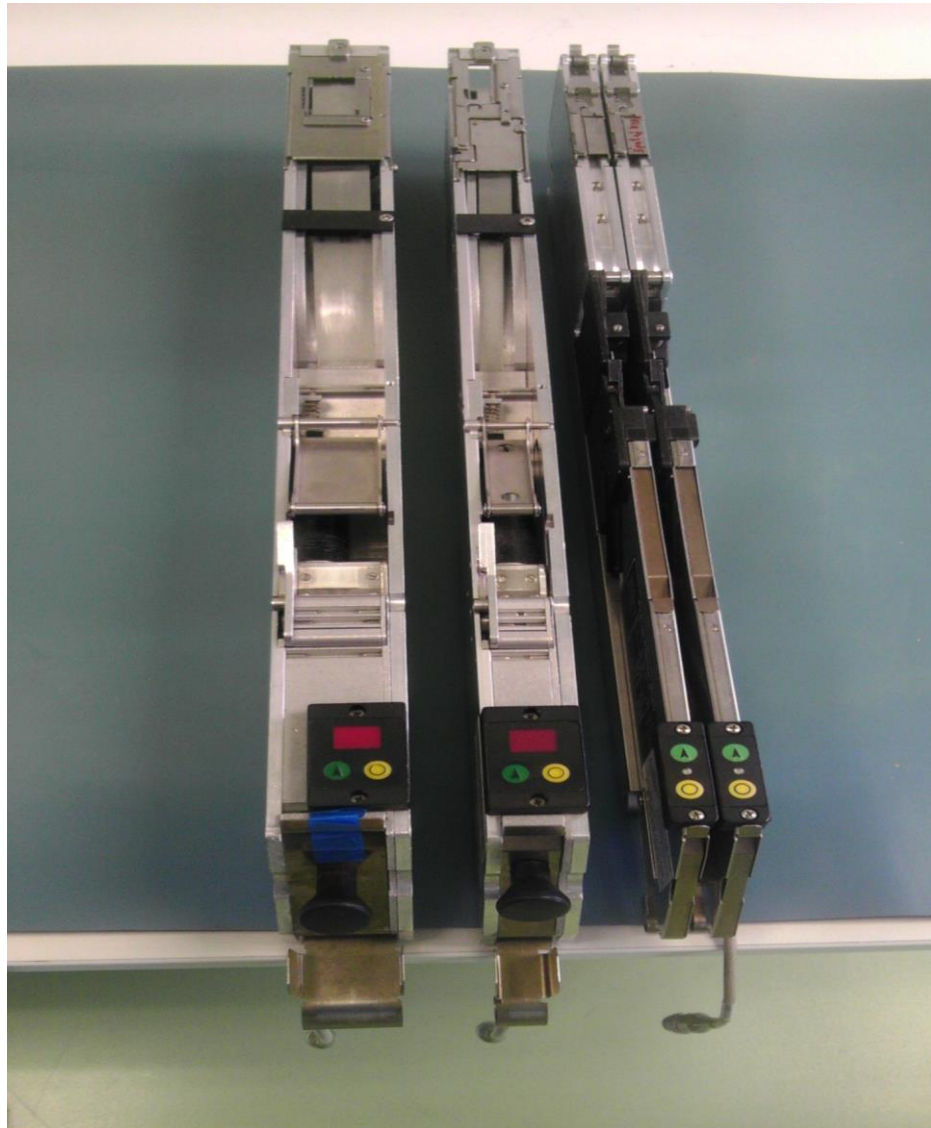
Součástky k osazování jsou dodávány v různých typech balení. Vzhledem k citlivosti součástek je balení vždy provedeno jako ESD.

Nejběžnější je zatavení součástek do pásu, kde jsou seřazeny za sebou, shodně orientovány, s perforací pásu na jedné straně pro umožnění strojního posuvu. Pás je následně navinut na kotouč. Pásky jsou běžně ve 3 základních šířkách, aby se tak pokrylo široké velikostní spektrum součástek a zároveň se unifikovala a zjednodušila řada používaných šířek pásu.



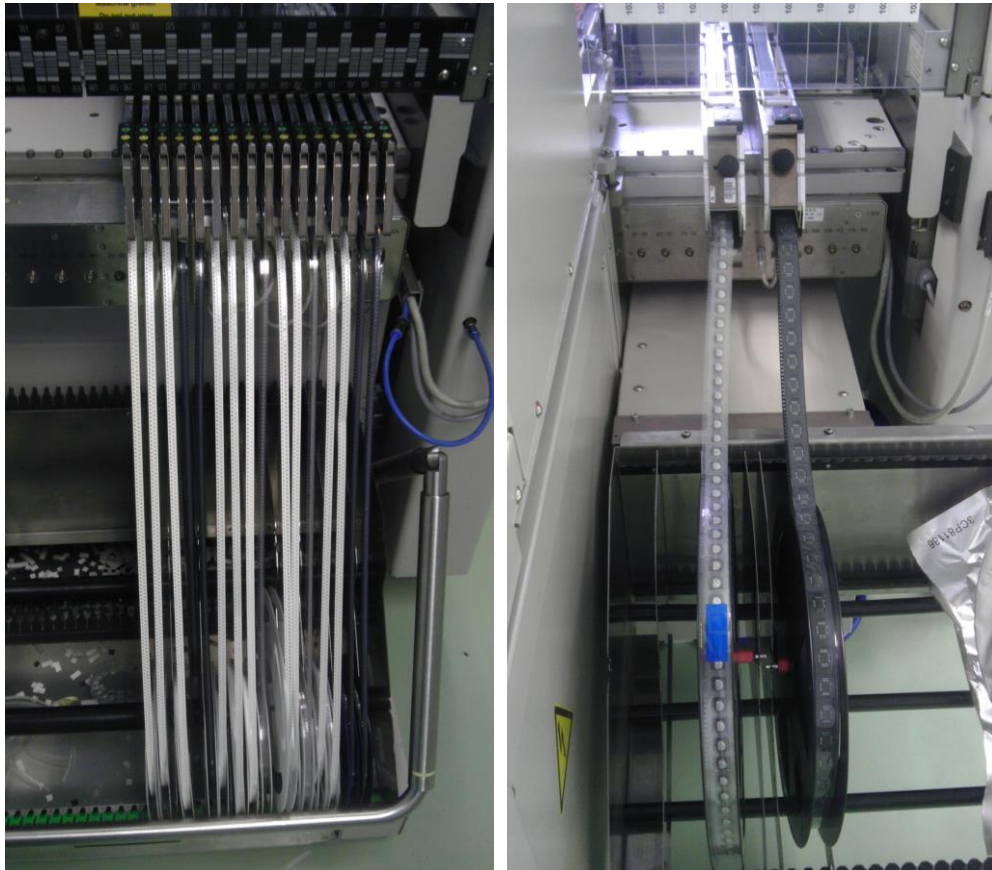
Obr. 13 Nejužší a nejširší pás se součástkami, navinutý na kotouči

Další variantou je naskládání shodně orientovaných součástek do tyče, což je ESD plastový tubus, na obou stranách s ESD plastovou zátkou. Používání tohoto typu je méně časté vzhledem ke složitější manipulaci se součástkami a nutnosti kontroly jejich správné pozice před osazením, eventuálně včetně úpravy pozice.



Obr. 14 Nejširší, střední a nejúžší (dvojitý) podavač

Součástky se do osazovacího stroje dostávají prostřednictvím podavačů (feedrů), což je elektromotorický systém, zajišťující přesný posun pásu se součástkami tak, aby si osazovací hlava odebírala součástky vždy ze stejné pozice. Tím je umožněn vysoký výkon osazování. Podavače jsou k dispozici ve 3 šířkách, čímž je umožněno založení všech 3 základních šířek pásů se součástkami.



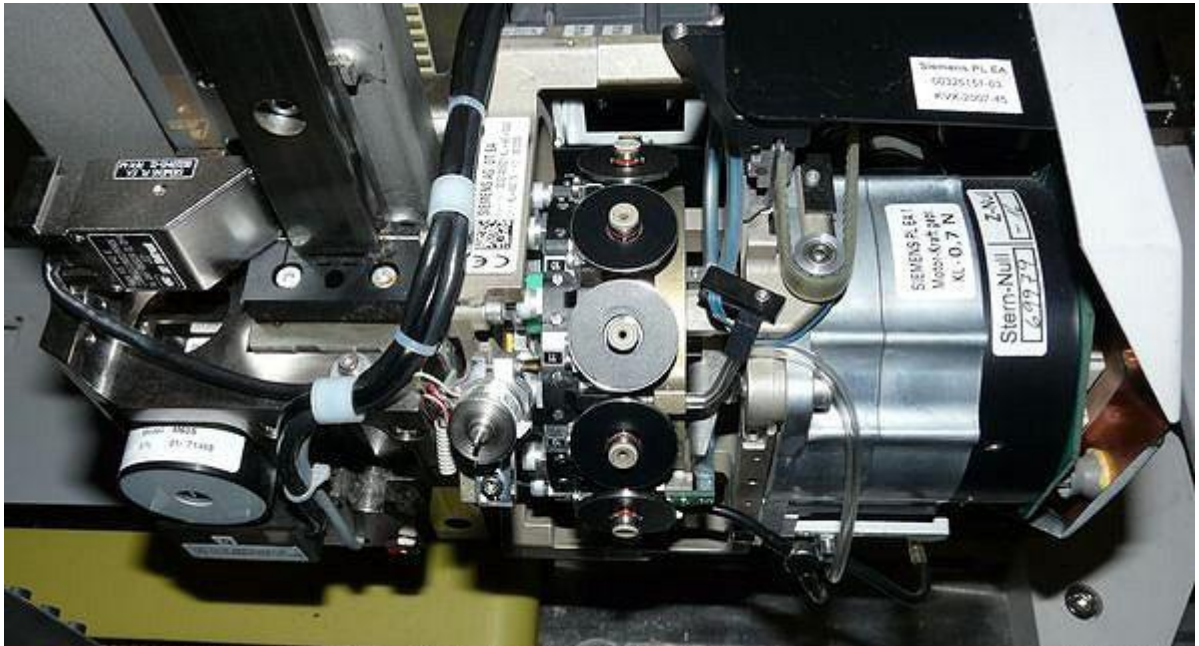
Obr. 15 a) a b) Podavače se založenými kotouči součástek ve stroji

2.3.2 Zařízení pro kontrolu správné pozice

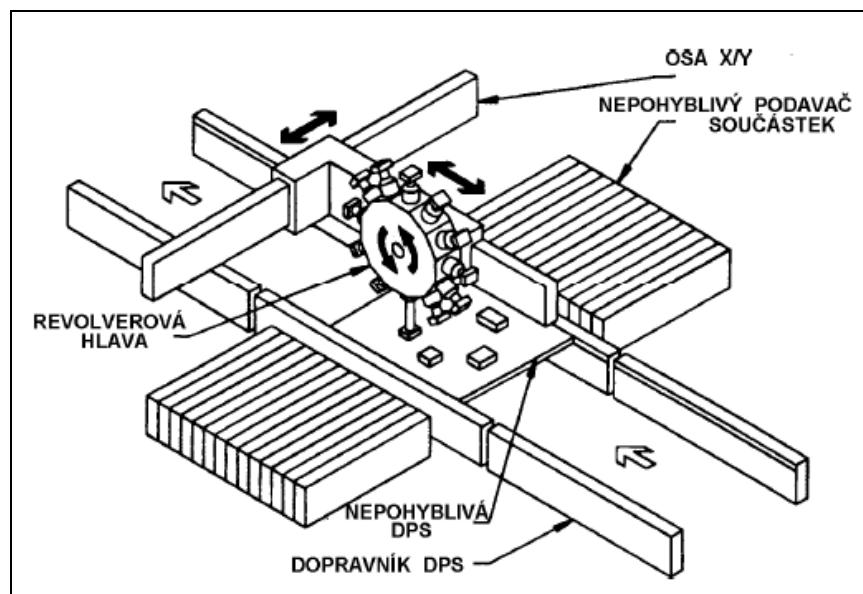
Jde o kamerový systém, který po zastavení hlavy s nabranou součástkou nad ním zkontroluje podle obrazového vzoru, uloženého v paměti systému, správnou pozici nabrané součástky. Pro správnou funkci je tedy nutno před použitím zadat do paměti systému tvar součástky, její velikost, stanovit oblast nebo více oblastí, jež se budou kontrolovat (porovnávat s uloženým vzorem) pro zajištění správné pozice a kritéria, podle nichž se bude porovnávat. Pod pojmem kritéria si lze představit například zkosený roh pouzdra, libovolný vývod součástky s drátovými vývody, nebo i vývod ve zkoseném rohu zároveň. Díky počítačovému systému probíhá kontrola velmi rychle, pro představu lze uvést čas potřebný na kontrolu 12 součástek na jedné osazovací hlavě cca 2 - 3 sec.

2.3.3 Osazovací hlava

Osazovací hlava je složitější elektropneumatický systém, zajišťující odebrání součástky ze stanoveného místa (podavače), umožnění provedení kontroly její pozice a umístění na požadované místo na DPS, s přesností na desetiny milimetru.



Obr. 16 Kruhová osazovací hlava (bez nasazených sacích trysek)



Obr. 17 Kruhová osazovací hlava - princip práce

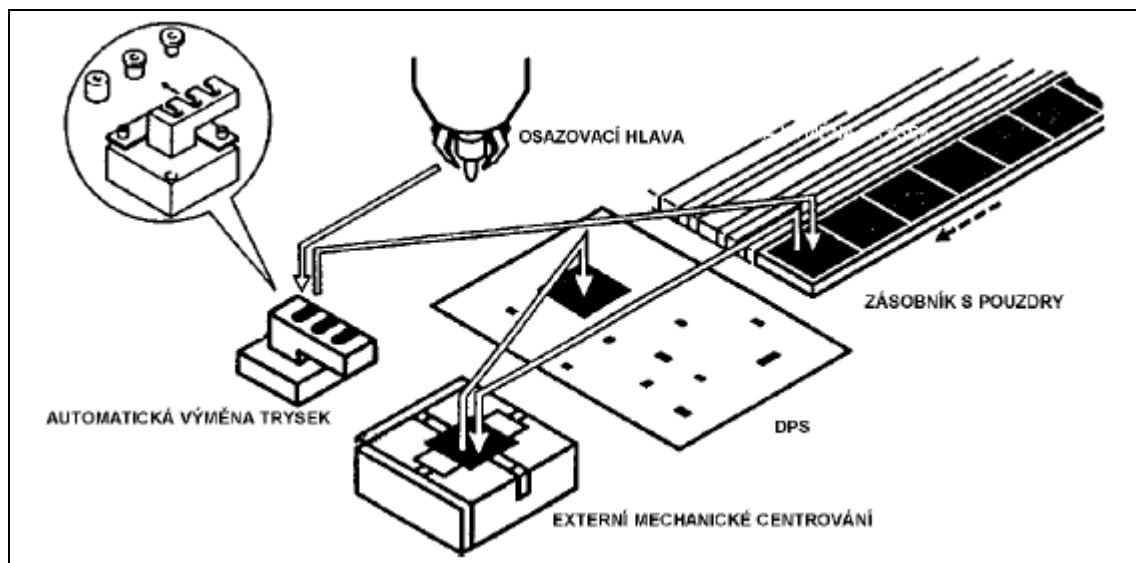
Odebrání součástky a její držení je zajišťováno pneumaticky (podtlakem a sací tryskou - nozzle), čímž je zajištěno nejen držení součástky na trysce po celou dobu, potřebnou k transportu a kontrole pozice, ale kontrolou hodnoty podtlaku v trysce i nabráním součástky (zvýšení hodnoty podtlaku po nabrání) nebo odpadnutí součástky z trysky (snížení hodnoty podtlaku po odpadnutí). Tímto lze i jednoduše indikovat, zda byla požadovaná součástka osazena na požadované místo či zda je potřeba úkon zopakovat. Hodnoty podtlaku, tvar

dosedací plochy sací trysky a průměr otvoru v ní jsou různé pro umožnění osazování široké palety součástek.



Obr. 18 Ukázky sacích trysek (nozzle)

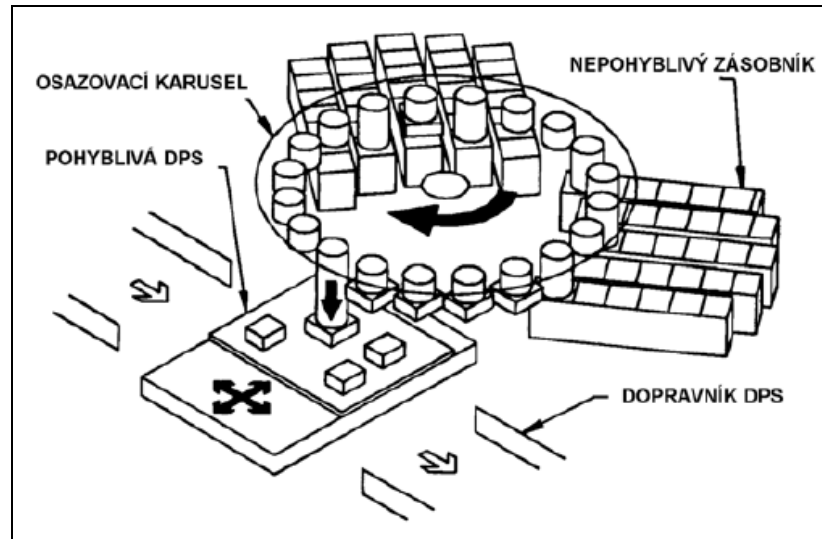
Pro osazování součástek, u kterých je dotyková plocha pro sací trysku vzhledem k jejich velikosti nedostatečná, lze použít např. klešťovou trysku, kde je podtlak využit ne přímo k přidržení součástky, ale k ovládnutí mechanických kleštin, kterými se dotyčná součástka drží mechanicky.



Obr. 19 Osazovací jednoduchá hlava „pick-and-place“

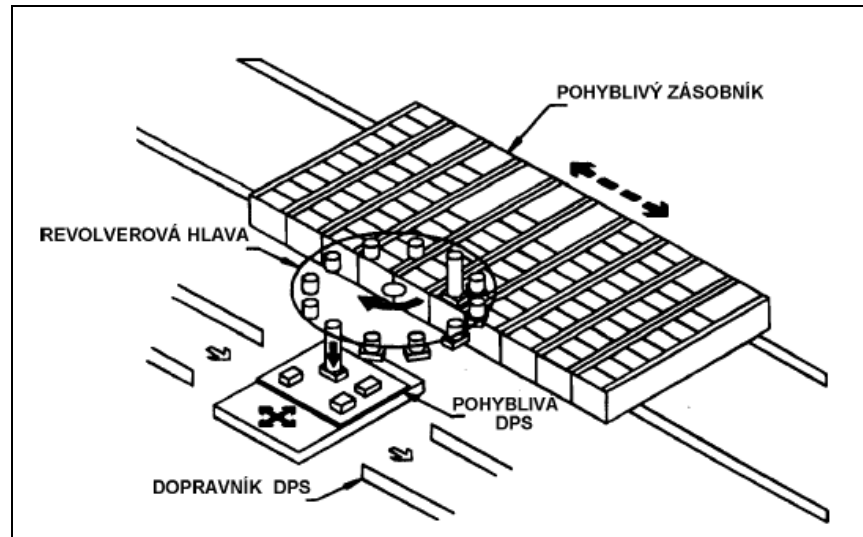
Osazovací hlavy mohou být různého typu a provedení, mezi běžné patří pohyblivá hlava (tzn. hlava se pohybuje mezi pevnými podavači a zapevňenou DPS) s jednou sací tryskou pro osazování rozměrných nebo nestandardních součástek (typ „pick-and-place“), nebo kruhová (revolverová) hlava, kde je na otočném kruhovém zařízení několik sacích trysek (běžně např. 12), a hlava tak dokáže při jednom kroku odebrat více součástek z jednoho nebo více podavačů a osadit je na DPS v jednom kroku. Tyto kruhové hlavy mohou být v provedení „chip-shooter“, kdy rotační hlava stojí na místě a DPS je ustavována do požadované polohy

pod trysku během otáčení hlavy mezi jednotlivými pozicemi trysek nebo v provedení obdobném jako „pick-and-place“, ale na jedno zaparkování hlavy u podavačů se nabere tolik součástek, kolik má hlava sacích trysek.



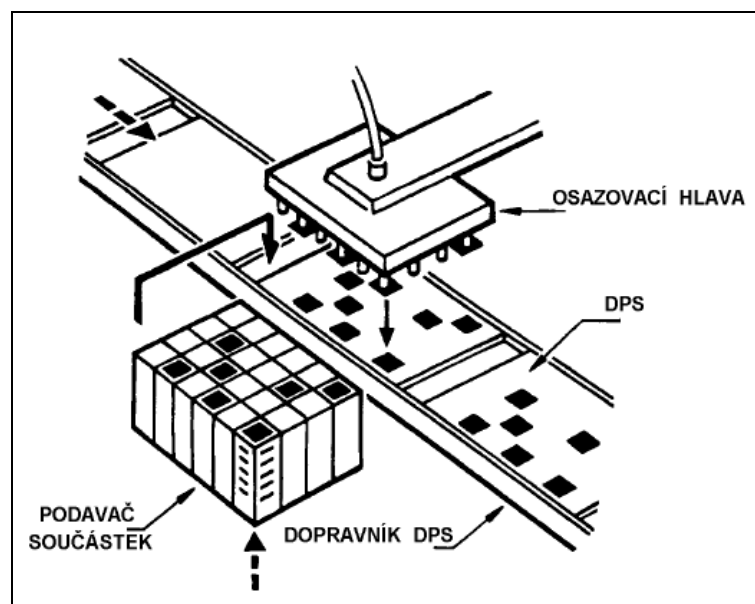
Obr. 20 Rotační osazovací hlava s pevným zásobníkem

Kruhové hlavy výrazně zkracují neproduktivní čas při přemísťování od DPS k podavačům a zpět nad DPS nebo. Pro srovnání obou typů kruhových hlav je nutno uvést, že „chip-shooter“ je sice rychlejší, ale má menší přesnost osazování oproti sice pomalejšímu, ale výrazně přesnějšímu systému „pick-and-place“, který navíc umožňuje i pohyb ve svislé ose. Produktivita systému „pick-and-place“ se dá částečně zvýšit umístěním 2 hlav na jeden portál, což umožňuje na jednu zapevňenou DPS osazovat 2 hlavami, a využít tak i čas nutný k nabírání součástek z podavačů druhou hlavou.



Obr. 21 Rotační osazovací hlava s pohyblivým zásobníkem

Poslední variantou je simultánní osazovací hlava, která pracuje na zcela odlišném principu než předchozí systémy. Podle polohy jednotlivých součástek na DPS se připraví jim odpovídající podavač součástek a pozice trysek na osazovací hlavě. Hlava pak najede nad podavač, vyzvedne součástky, přejede nad DPS a součástky umístí na DPS přesně do těch pozic, ve kterých je z podavače nabrala. Velmi rychlý způsob osazování, ale jakákoliv změna v pozici součástky znamená i úpravu podavače a osazovací hlavy. Optimální použití této varianty je pro výrobu ve velmi velkých sériích s dlouhou dobou mezi změnami.



Obr. 22 Simultánní osazování

<i>Metoda osazování</i>	Rychlost (součástky/hod)	Flexibilita	Chybovost metody (dpm)
Ruční osazovací manipulátor	300 – 500	vysoká	cca 3000
Stolní osazovací poloautomat	300 – 600	vysoká	cca 700
Sekvenční „Pick and Place,, automat	2.000 – 4.000	vysoká	100 - 30
- „Single-Head“ Systém (1 osaz.hlava)	až 30.000	střední	
- „Multi-Head“ Systém (více osaz.hlav)	až 180.000	střední	
- „Chip Shooter,, Nastřelovač-čipů			
Simultánní automat	cca 120.000 až 300.000	malá	cca 100

Tab. 1 Porovnání jednotlivých druhů osazování

2.4 Přetavovací pec (SMT 460)

Přetavovací pec je tepelné zařízení k dosažení takové teploty pájecí pasty, aby došlo k roztavení jednotlivých kuliček pájecí slitiny v pájecí pastě a jejich slití do souvislého objemu, čímž dojde k zapájení osazených součástek na DPS.

Provedení je buď horkovzdušné, kde topnými články ohřátý vzduch je veden tryskami pomocí ventilátorů přímo nad DPS, nebo infračervené, kde DPS je zahřívána infračerveným zářením. Další způsoby, jako např. pájení kondenzační, laserovým paprskem, vyhřívanou deskou nebo pájecí formou, nejsou vhodné pro pásovou výrobu, tudíž se ani v přetavovacích pecích nepoužívají.

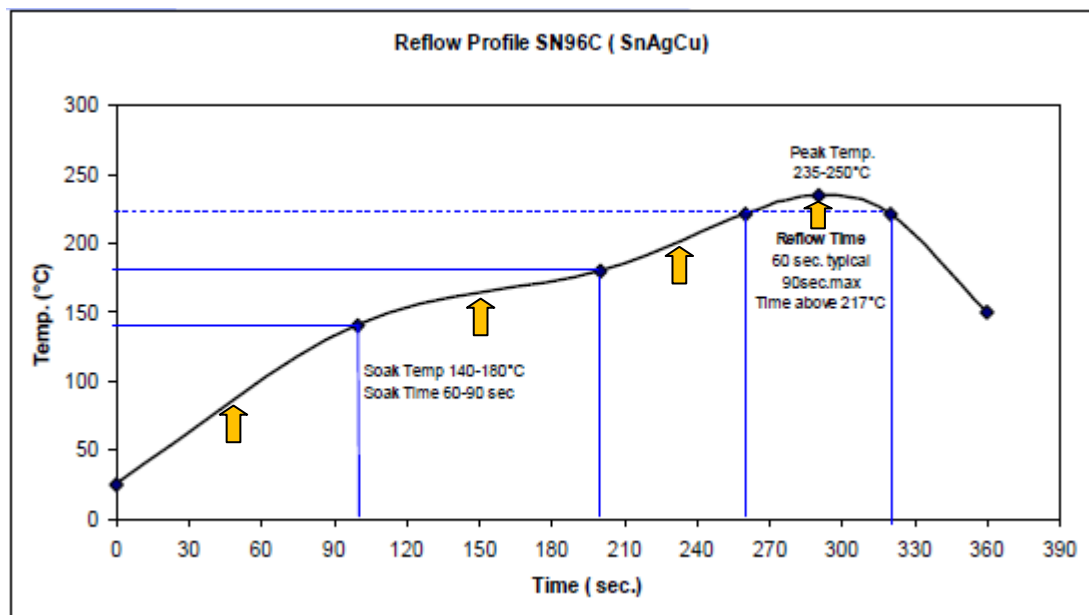
Hlavním faktorem pro definici pájecí teploty je teplota tavení pájecí slitiny, kde optimum pájecí teploty je typicky definováno pro eutektické složení pájecí slitiny s přímým přechodem z pevné fáze do fáze kapalné. Dále je nutno respektovat přípustné tepelné zatížení jednotlivých komponent celého konstrukčního celku i samotného substrátu v závislosti na jeho složení. Z hlediska dlouhodobé spolehlivosti spojů je vzata v úvahu také teplotně-časová dynamika formování intermetalických sloučenin na rozhraních pájecí slitiny, vývodů součástek a pájecích plošek.



Obr. 23 Přetavovací pec (otevřená, zleva 4 topné sekce a 1 chladicí)

Vzhledem k výrobce pájecí pasty požadované minimální teplotě 221°C , nutné k přechodu pájecí pasty z fáze pevné ve fázi kapalnou, jsou nastavovány teploty v přetavovací peci mezi 240 a 250°C . Přetavovací pec je vnitřně rozdělena na několik sekcí (zde 4 topné a jedna chladicí). V jednotlivých sekcích za sebou jsou nastaveny vždy vyšší teploty než v předchozí, pouze v poslední je teplota výrazně nižší než v předchozí pro ochlazení DPS před jejím výstupem z přetavovací pece, čímž je zajištěn zpětný přechod pájecí slitiny z fáze kapalnou do fáze pevné. Proto tato poslední sekce nemá topení, ale naopak chlazení. Počet topných sekcí má přímý vliv na možnost přesnějšího nastavení pájecího termoprofilu podle předpisu výrobce pájecí pasty (čím více sekcí, tím lépe se dosahuje výrobcem požadovaného termoprofilu). Všechny sekcemi je DPS unášena pásem, jehož rychlost se je regulovatelná. Termoprofil je předložen jako graf, znázorňující požadovanou teplotu DPS v závislosti na čase tak, aby došlo k řádnému přetavení pájecí pasty. Samotný teplotní profil je definován prostorovým rozložením tepelného pole uvnitř přetavovací pece. Graf pak představuje znázornění tohoto tepelného pole podél jedné prostorové osy, typicky podélné, promítnutý do časové oblasti dané definovaným průchodem PCB celou pecí. V náročnějších aplikacích je však nutné řešit i příčný teplotní profil pro

zajištění požadavků na optimální teplotní gradienty v celé ploše, resp. zde spíše již materiálovém objemu PCB včetně komponent. Požadovaný termoprofil je uveden formou grafu v datovém listu k pájecí pastě. V popisovaném případě výrobce pájecí pasty požaduje překročení teploty 217°C v rozmezí 60 - 90 sec., a rychlost náběhu teploty i jejího sestupu tvarem grafu. Nastavený (skutečný) termoprofil se zjišťuje záznamovým zařízením, které se pustí přetavovací pecí obdobně jako DPS. Zaznamenaná data se přenesou do grafu a porovnává se shoda s požadovaným termoprofilem. Zjištěné odchylky skutečného od požadovaného tvaru křivky grafu se donastavují změnami teplot v jednotlivých topných sekcích (poslední ochlazující sekce se nenastavuje) a rychlosti pásu. Doba pobytu DPS v přetavovací peci popisované linky je okolo 6 minut.



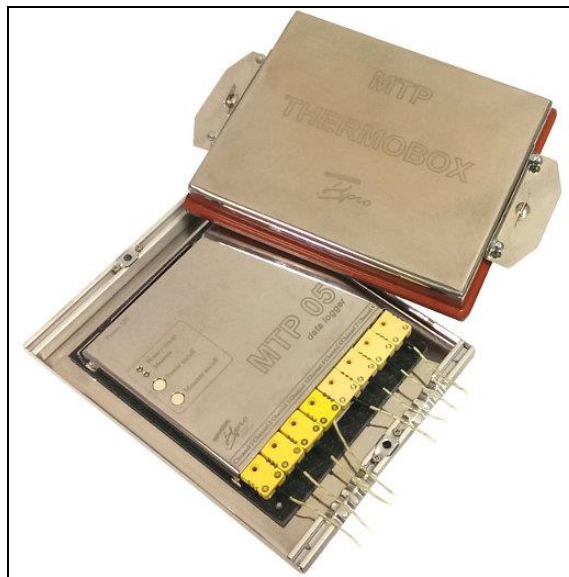
Obr. 24 Příklad předpisu termoprofilu

Hranice jednotlivých topných zón jsou pro orientaci zvýrazněny oranžovými šipkami v obr. 19 „Příklad předpisu termoprofilu“. Vyšší počet topných zón je dán zejména potřebou plynulého nasycení teplotní kapacity celého konstrukčního celku z důvodu minimalizace teplotního šoku a prudkých rozměrových dilatací během špičkových teplot ve fázi přetavení a tepelná aktivace tavidla. Vzhledem k požadavkům, jež jsou na tavidlo kladena (příprava povrchu pájecí plošky a vývodu součástky k pokud možno co nejdokonalejšímu navzlínání pájecí slitiny na obě uvedená místa pomocí jejich chemické očištění), musí být pro tuto činnost i vytvořeny podmínky, tedy dosaženo aktivační teploty tavidla a poskytnutí nezbytného

3 Přípravky, nástroje a materiály

3.1 Zařízení na měření termoprofilu (MTP 05)

Jde o mikropočítač, jenž zaznamenává teplotu z více čidel v závislosti na čase. Provoz je na akumulátor. Počet vstupů - teplotních čidel typu K - bývá mezi 4 a 16. Vzorkovací frekvence je závislá na vnitřní paměti, obvykle se používá 1 - 2 vzorky za sec.



Obr. 26 Zařízení na měření termoprofilu

3.2 Teploměr na měření teploty pájecí pasty (VOLT CRAFT PL 100 T)

Jde o digitální teploměr, se sondou typu K. Správná teplota pájecí pasty je nezbytným předpokladem řádného nanesení pájecí pasty na DPS. Požadovanou aplikační teplotu pájecí pasty stanovuje její výrobce, uvedena je v datovém listu. Teplota se měří přímo v kelímku s pájecí pastou, ponořením měřicího hrotu teploměru do pájecí pasty. Teprve po ověření dosažení požadované aplikační teploty lze pájecí pastu doplnit do zásobníku stroje na nanášení pájecí pasty (první stroj popisované osazovací linky). Pokud by byla pájecí pasta studenější, nebylo by zaručeno její řádné rozprostření do všech otvorů, pokud by byla teplejší, mohlo by docházet k jejímu trhání při oddalování šablony, síta nebo dispenzeru, a tím k nesprávnému nanesení nebo i k zavlečení pájecí pasty mimo požadovaná místa. V popisované lince je požadovaná aplikační teplota pájecí pasty v rozmezí 21 - 26°C. Dosažení této teploty, jež je obdobná jako požadovaná teplota místnosti s osazovací linkou, se

zde dosahuje ponecháním kelímku s pájecí pastou na určeném místě v místnosti.

Skladovacím problémem pájecí pasty je její expirační lhůta, jež je závislá na skladovací teplotě - vyšší skladovací teplota = kratší expirační lhůta. Maximální expirační lhůta popisované pájecí pasty (6 měsíců) je při skladovací teplotě nižší než 10°C. Vzhledem k vysoké ceně pájecí pasty se proto pro uskladnění používá chladnička.



Obr. 27 Digitální teploměr se sondou

3.3 Pájecí pasta (BALVER ZINN SN 96)

Pájecí pasta je směs velmi malých kuliček pájecí slitiny (o rozměrech v řádu desetin mm) s tavidlem (chemikálie, určená k chemické deoxidaci pájecích ploch a kontaktů před vlastním navzlínáním roztavené pájecí slitiny). Volbou velikosti kuliček pájecí slitiny lze částečně ovlivnit výsledné množství pájecí slitiny na pájecích ploškách. Provedením jsou běžné 3 druhy pájecích past, vzájemně se lišící průměrem majoritního (80% nebo 90%) množství kuliček pájecí slitiny:

Typ	80% kuliček [μm]	max. 20% kuliček	žádná větší než [μm]
1	150 - 75	< 20 μm	160
2	75 - 45	< 20 μm	80
3	45 - 25	< 20 μm	50

Tab. 2a) Přehled členění pájecích past podle průměrů kuliček pájecí slitiny

Typ	90% kuliček [μm]	max. 10% kuliček	žádná větší než [μm]
4	38 - 20	< 20	40
5	25 - 15	< 15	30
6	5 - 15	< 5	20

Tab. 2b) Přehled členění pájecích past podle průměrů kuliček pájecí slitiny

Pro určení typu pájecí pasty se obvykle používá pravidlo 3D, což znamená, že do nejmenší šířky či délky a do výšky sítotiskové masky či šablony by se měly vejít alespoň 3 kuličky pájecí slitiny z použité pasty. Při použití nanášení pájecí pasty disperzerem je toto pravidlo vztaheno k nejmenší šířce či délce pájecí plošky, na níž je pájecí pasta nanášena.



Obr. 28 Pájecí pasta

3.4 SMD lepidlo (Permacol)

SMD lepidlo je speciální lepidlo, vytvrzované teplotou, jež je cca o 1/2 nižší (okolo 120 - 130°C) než je přetavovací teplota pájecí slitiny (potřebnou teplotu zajišťuje poslední stroj linky, přetavovací pec). Může být v provedení jak elektricky nevodivém (běžnější použití), tak elektricky vodivém - pro speciální použití, lze jím nahradit i pájecí slitinu.



Obr. 29 SMD lepidlo

Smyslem použití tohoto lepidla je zejména:

- podržet osazenou součástku na svém místě v případě, kdy je potřeba celou osazenou DPS zapájet přes již osazené a zapájené součástky z téže strany DPS ještě v pájecí vlně - zde dojde ke styku DPS s roztavenou pájecí slitinou, a s velkou pravděpodobností by došlo k přechodu již zatuhlé pájecí slitiny do fáze kapalné s uvolněním a posunem až odpadáním součástek
- podržet osazenou součástku na svém místě v případě, kdy je potřeba osazenou DPS osadit i z druhé strany - zde dojde k opětovnému průchodu DPS přetavovací pecí, a díky opětovnému přechodu již zatuhlé pájecí slitiny na první osazené straně DPS do fáze kapalné by došlo k uvolnění již zapájených součástek, což vzhledem k pozici těchto součástek na spodní straně DPS by vedlo k jejich odpadnutí vlivem gravitace Země
- zvýšení mechanické pevnosti spoje u součástek s velmi malým poměrem „velikost pájecích vývodů : celkový objem“ - typickým představitelem jsou filtrační kondenzátory na vstupu, obvykle elektrolytické s kapacitami v řádu jednotek až desítek μF , a tudíž s rozměry válce s průměry okolo 5 - 10 mm a výškou 8 - 10 mm, s pouze 2 malými pájecími vývody. Zde se pak SMD lepidlo použije jako další spojení součástky s DPS, avšak elektricky nevodivé.

4 Nejběžnější chyby a jejich obvyklé příčiny

Klasifikace chyb (zda jde o závadu či nikoliv, a její přijatelnosti či nepřijatelnosti, eventuálně o způsobu její opravy) je vždy na prvním místě záležitostí zákazníka, který toto má stanovit. Pokud zákazník nechce vyjmenovávat všechny potenciální vady, může si pomoci stanovením ve výrobní dokumentaci některé z norem nebo předpisů, jež se tímto pro dodavatele stávají závaznými. Jestliže toto zákazník nestanoví, může si to namísto něj dohodnout dodavatel ve smlouvě se zákazníkem. Zákazník nebo smlouva s dodavatelem vždy může stanovit odchylky od dohodnuté normové nebo předpisové úpravy. Z tohoto důvodu zde tedy není uváděna přijatelnost či nepřijatelnost popisované závady v hotové sestavě.

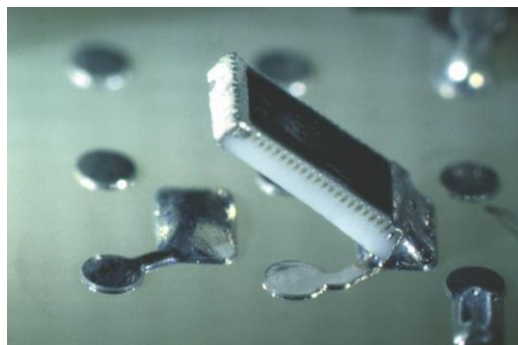
Nejběžnější a nejpoužívanější normou v oblasti SMD osazování je IPC-A-610-E. V současnosti je v platnosti již 5. revize (vyjádřeno písmenem E), z roku 2010. Tato norma vznikla dohodou světových automobilek, jejich dodavatelů a mnoha dalších firem z oboru automotive, ale i elektronika.

4.1 Chyby

4.1.1 Tombstoning

Dvouvývodová součástka nemá oba vývody zapájené k DPS, jeden z nich je nadzvednutý. Není zde elektrický kontakt, spoj není elektricky vodivý.

Důvodem bývá zejména nepřesné osazení součástky na DPS, kdy nadzvednutý vývod neležel na příslušné pájecí plošce, a při přetavování si pájecí slitina hydraulickými silami přitáhla součástku na druhou pájecí plošku, a snažila se navztlínat na tento vývod ze všech stran, což způsobilo nadzvednutí až postavení součástky.



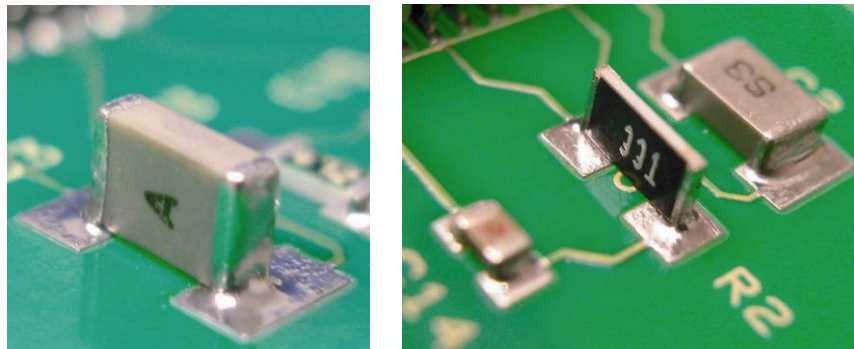
Obr. 30 Tombstoning

4.1.2 Billboarding

Dvouvývodová součástka neleží na stanovené spodní straně, ale je na jedné z bočních stran.

Důvodem bývá chyba v osazovacím automatu při osazování, zejména:

- přetočení součástky v podavači při transportu součástek
- poškozená sací tryska
- nevhodný typ sací trysky
- nesprávná funkce podtlaku sací trysky



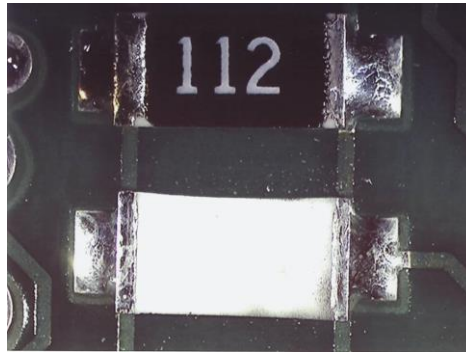
Obr. 31 a) a b) Billboarding

4.1.3 Osazení spodní stranou nahoru

Dvouvývodová součástka neleží na stanovené spodní straně, ale je na horní straně.

Důvodem bývá zejména:

- chyba v osazovacím automatu při osazování (např. přetočení součástky v podavači při transportu součástek)
- součástka je přetočena již v pásu se součástkami (např. vinou otřesů při dopravě při nevhodně zvolené velikosti pásu se součástkami výrobcem)



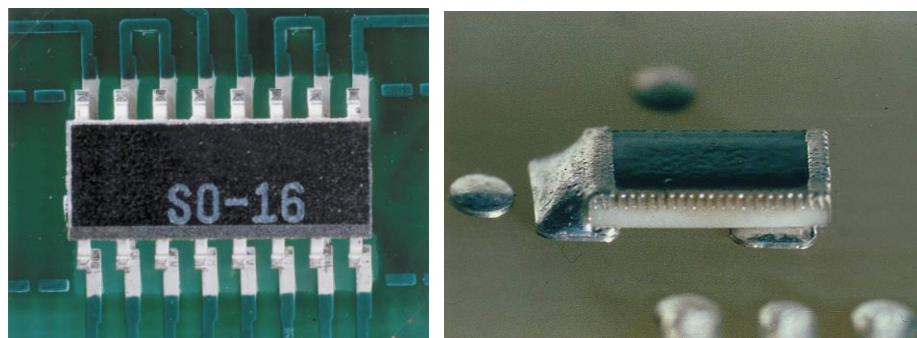
Obr. 32 Osazení spodní stranou nahoru

4.1.4 Vývody součástky mimo příslušné pájecí plošky

Součástka neleží svými vývody na příslušných pájecích ploškách, ale je částečně nebo zcela mimo ně. Norma IPC-A-610 popisuje mnoho různých druhů a variant přesahů, ve všech možných směrech.

Důvodem bývá chyba v osazovacím automatu při osazování, zejména:

- závada na polohovacím zařízení osazovací hlavy
- nesprávná funkce podtlaku sací trysky
- chyba v programu s osazovacími souřadnicemi
- chyba zabezpečovacího zařízení DPS
- závada na sesazovacím zařízení



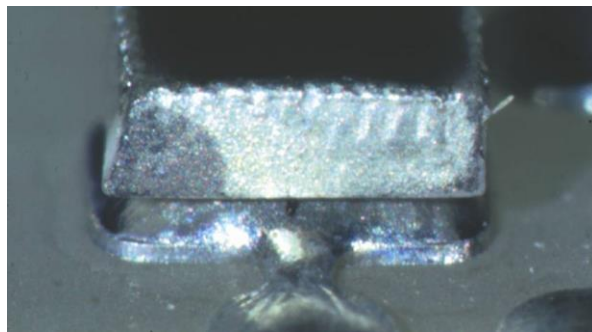
Obr. 33 a) a b) Vývody součástky mimo příslušné pájecí plošky

4.1.5 Nedostatek pájecí slitiny na vývodech po přetavení

Mezi vývody součástky a pájecí ploškou je nedostatek pájecí slitiny. Hrozí zde nedokonalé elektrické nebo mechanické spojení a z toho plynoucí možné závady. Norma IPC-A-610 předepisuje minimální množství pájecí slitiny podle mnoha různých kritérií.

Důvodem může být např.:

- nevhodně zvolená velikost pájecí plošky vzhledem k velikosti vývodů součástky
- přítomnost nezakrytého prokovu*) v plošce
- chyba v návrhu vodivých cest
- vada v pokrytí vodivé cesty u pájecí plošky nepájivou maskou**)



Obr. 34 Nedostatek pájecí slitiny

4.1.6 Zkrat mezi jednotlivými vývody vícevývodové součástky

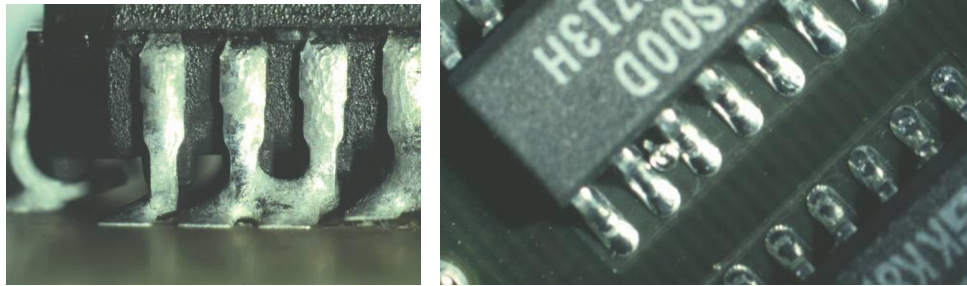
Mezi jednotlivými vývody vícevývodové součástky je nežádoucí propojení pájecí slitinou. Vzniklo zde nežádoucí elektrické spojení a z toho plynoucí možné závady.

Důvodem může být např.:

- posunutá součástka vzhledem k příslušným pájecím ploškám
- špatně nanesená pájecí pasta (přes okraj příslušné pájecí plošky - na nepájivou masku)
- posun se součástkou v pájecí pastě

*) prokov - pokovený otvor skrz DPS, spojující vodivé cesty na obou stranách jedné DPS nebo mezi jejími jednotlivými vrstvami

***) nepájivá maska - obvykle barevný film, zabraňující pájecí slitině v kontaktu s vodivými cestami na DPS v místech, kde je to nežádoucí

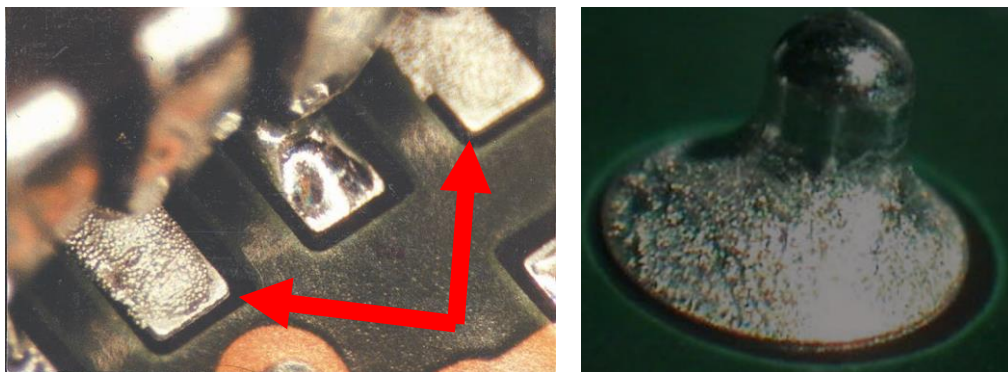


Obr. 35 a) a b) Zkrat mezi vývody součástky

4.1.7 Nedostatečné přetavení pájecí slitiny

Pájecí slitina po přetavení není dostatečně přetavena (jsou stále patrné kuličky původní pájecí pasty). Hrozí zde nedokonalé elektrické nebo mechanické spojení a z toho plynoucí možné závady.

Důvodem je téměř vždy nesprávné nastavení přetavovací pece a z toho plynoucí nesprávný termoprofil (ať již nízké teploty v jednotlivých sekcích přetavovací pece nebo vysoká rychlost pásu).



Obr. 36 a) a b) Nedostatečné přetavení pájecí slitiny

Závěr

Bakalářská práce si předsevzala za cíl představit SMD osazování jako komplexní celek, kde je na jednom místě uvedení do problematiky včetně lehkého ohlédnutí do historie, přiblížení podmínek návrhu osazovací linky v závislosti na zadaných podmínkách a optimalizace jejího chodu, seznámení se s celým procesem na jedné konkrétní osazovací lince, ale i širší rozhlédnutí se i po ostatních dostupných a používaných alternativách představovaných stroji, se snahou o nastínění základů pro rozhodování se mezi nimi. Dále je zde pro větší názornost uvedeno i nastavení strojů představované linky, včetně nezbytného vybavení. Samozřejmě nesmí chybět ani kapitola „Co když se něco nedaří či nepovedlo“ s výčtem nejběžnějších chyb (což brilantně zvládá leckdo, jmenujme např. normu IPC-A-610), ovšem na rozdíl od prostého výčtu je zde výrazná přidaná hodnota ve formě „Proč se to nejspíš nepovedlo“, čili co bylo asi špatně a tedy nejspíš původem oné chyby.

Práce tak nabízí možnost na jednom místě získat podklady pro celý proces, počínající návrhem osazovací linky, přes její uvedení do provozu až po nápravu chyb v nastavení díky vzniklým vadám. Snaží se tak zase o kousek zaplnit mezeru s informacemi o výrobě, jež je dnes velmi využívaná a moderní, ale chudá na komplexnější podklady.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ABEL, Martin a CIMBUREK, Vladimír. *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*. 1. vyd. Pardubice: ABE.TEC, 2005. 180 s. ISBN 80-903597-0-1
- [2] KOLEKTIV. *IPC-A-610-E-CZ Kritéria přijatelnosti elektronických sestav*. Překlad PBT Rožnov p.R., 2010. 268 s.
- [3] *Příručka strojního vybavení* [online]. Poslední změna 9.3.2014. Dostupné z: http://www.torolafren.cz/doc_download/prirucka-strojního-vybavení-1301092440.pdf
- [4] JANÁČ, Martin, bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati Zlín, 2011, dostupné z: ccs.infospace.com/ClickHandler.ashx?du=dspace.k.utb.cz%2fbitstream%2fhandle%2f10563%2f17507%2fjan%2c3%2fa1%2c4%2d_2011_bp.pdf...&ru=http%3a%2f%2fdspace.k.utb.cz%2fbitstream%2fhandle%2f10563%2f17507%2fjan%25C3%25A1%25C4%258D_2011_bp.pdf%3fsequence%3d1&ld=20140223&ap=3&app=1&c=zensearch&s=zensearch&coi=771&cop=main-title&euiP=89.24.131.246&npp=3&p=0&pp=0&pvoid=190d89b040624981bbce19d67b1de41f&ep=3&mid=9&en=VDmpBk3C0yEJl8p46%2fSkWGLdjbK9gOFDJvVA%2bA7MY0gl3jZynMSnkW%3d%3d&hash=51CE117C150A30B7EEF4F78EFF13C0E1
- [5] KAHLE, Petr a STARÝ, Jiří. *Plošné spoje a povrchová montáž*. VUT Brno, 2011, dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/METMEL/studijni-pomucky/METMEL_11_SP_BPSM_Plosne_spoje_a_povrchova_montaz.pdf