

**ZÁPADO ČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv povrchových úprav DPS na pájitelnost

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

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

Jméno a příjmení: **Petr HOCH**
Osobní číslo: **E12B0101P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Vliv povrchových úprav DPS na pájitelnost**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Seznamte se s problematikou povrchových úprav DPS.
2. Vypracujte přehled používaných povrchových úprav DPS s ohledem na jejich vlastnosti a jejich výrobu.
3. Navrhnete a provedte experiment pro testování pájitelnosti DPS s vybranými povrchovými úpravami.
4. Provedte vyhodnocení výsledků.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

1. P. Mach, V. Skočil, J. Urbánek Montáž v elektronice
2. R. J. Klein Wassink Soldering in electronics
3. Internetové zdroje


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Hirman**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vlivy povrchových úprav desek plo-ných spoj na pájitelnost. Teoretická část je zaměřena na pájitelnost a na vlivy, které pájitelnost ovlivní. Dále obsahuje základní popis tvorby pájeného spoje, pohled základních druh pájení, nejpoužívanější metody testování pájitelnosti a pohled povrchových úprav desek plo-ných spoj. V praktické části je popsán test pájitelnosti různých vzorků povrchových úprav desek plo-ných spoj, tento test byl realizován pomocí testu roztékavosti.

Klíčová slova

Pájitelnost, test roztékavosti, smálcí úhel, povrchové úpravy DPS

Abstract

This thesis deals with the effects of surface treatment of printed circuit boards on solderability. The theoretical part is focused on solderability and influences that affect solderability. It also includes a basic description of the formation of the solder joint, an overview of the basic types of soldering, the most widely used methods for solderability testing and survey surface finishes PCBs. The practical part describes the solderability test various samples of surface treatment of printed circuit boards, this test was conducted using a area of spread test.

Key words

Solderability, area of spread test, contact angle, surface finishes PCB

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 zpracování této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 1.6.2015

Petr Hoch

Pod kování

Tímto bych rád pod koval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Hirmanovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	10
1 PÁJENÍ.....	11
1.1 PÁJENÉ SPOJE	11
1.2 DRUHY PÁJENÍ.....	12
1.3 PÁJITELNOST	14
1.3.1 <i>Problémy pájitelnosti</i>	16
1.3.2 <i>Zkoušky pájitelnosti</i>	17
2 POVRCHOVÉ ÚPRAVY DPS.....	23
2.1 PÁJECÍ LAKY	23
2.2 OSP.....	24
2.3 HASL.....	24
2.4 PĚTAVENÍ SLITINOU Sn/Pb.....	25
2.5 IMSN	25
2.6 IMAG.....	26
2.7 ENIG.....	27
2.8 POROVNÁNÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV.....	28
3 TESTOVÁNÍ PÁJITELNOSTI.....	29
3.1 VÝBĚR METODY TESTOVÁNÍ PÁJITELNOSTI	29
3.2 VZORKY POUŽITÉ PRO TESTOVÁNÍ PÁJITELNOSTI	29
3.3 PROVEDENÍ TESTU ROZTÉKAVOSTI	30
3.4 NAMĚŘENÉ HODNOTY.....	33
3.5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	34
ZÁVĚR.....	38
SEZNAM LITERATURNÍCH A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39

Seznam symbolů a zkratk

DPS.....	Deska plošných spoj
ENIG.....	Electroless Nickel Immersion Gold
HASL.....	Hot Air Solder Leveling
ImSn	Imersní cín
ImAg.....	Imersní stříbro
OSP.....	Organic Solderability Preservative
.....	Smálcův úhel

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na zjištění vlivu povrchových úprav desek plošných spojů na pájitelnost. Povrchové úpravy zlepšují konečnou pájitelnost a chrání m d ně plošky před oxidací a nečistotami. Tyto vlastnosti významně ovlivní výslednou kvalitu DPS, která souvisí i s kvalitou a spolehlivostí elektronického zařízení. Proto je volba vhodné povrchové úpravy nedílnou součástí každého návrhu DPS. Volbu vhodné úpravy doprovází i její testování z nejrůznějších hledisek. Jedno z nejdůležitějších hledisek pro kvalitní DPS je její pájitelnost a proto se tato práce zabývá zjištěním pájitelnosti vybraných povrchových úprav.

Tato práce je rozdělena do tří částí. První část se zabývá tvorbou a definováním požadavků pájeného spoje, základním rozdělením a druhy pájecích procesů. V této části je dále definován pojem pájitelnost, který úzce souvisí se spolehlivostí a také parametry, které výslednou pájitelnost ovlivní. V neposlední řadě obsahuje také přehled používaných metod testování pájitelnosti.

Druhá část práce je věnována povrchovým úpravám DPS, jejich způsobu nanesení, výroby a vlastnostem těchto úprav. Tato část se také zabývá porovnáním jednotlivých povrchových úprav.

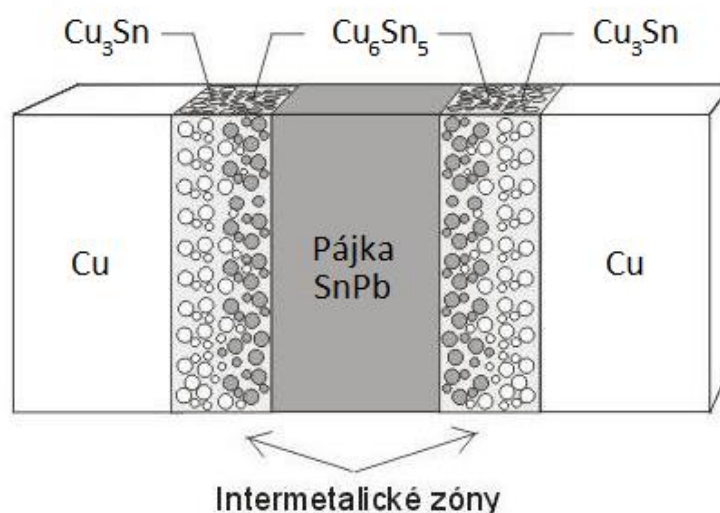
Poslední část práce se zabývá testováním pájitelnosti pomocí testu roztékavosti. Pomocí tohoto testu lze zjistit příslušný smáčecí úhel a poměr roztékavosti pájecí slitiny. Cílem této práce je navrhnout, realizovat a vyhodnotit experiment s vyfúkním DPS s povrchovými úpravami ENIG, ImSn, OSP a bez povrchové úpravy.

1 Pájení

Je způsob metalurgického spojování materiálů, u kterého se liší od svařování tím, že se na rozdíl od svařování netaví spojované části, ale taví se pouze přidávaný kovový materiál – pájecí slitina. Tavní teplota pájecí slitiny je vždy nižší než teplota tavení spojovaných dílů. Po ztuhnutí pájecí slitiny dojde k vytvoření pájeného spoje.[1]

1.1 Pájené spoje

Tvorba pájeného spoje se uskutečňuje na rozhraní mezi pájenou částí a pájecí slitinou. Při pájení nastávají složitě fyzikálně-chemické reakce na rozhraní tekuté a tuhé fáze.[1] Povrchové atomy základního materiálu se dostávají do kontaktu s atomy roztavené pájecí slitiny v takové vzdálenosti, že se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil.[2] [3] Současně dochází k difúzi a rozpouštění některých prvků ze spojovaných materiálů. Důsledkem těchto procesů dochází ke vzniku mezifázového rozhraní mezi pevným a tekutým kovem. V praxi se často objevují i různé vrstvy o určité tloušťce, tyto oblasti se vyznačují tím, že mají rozdílné mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti vzhledem ke spojovaným materiálům.[2] Tyto oblasti se nazývají intermetalické vrstvy, jsou to praxi vodní jevy všech pájecích procesů. Tato vrstva je zobrazena na Obr. 1.1, jako příklad je uvedena intermetalická vrstva vznikající mezi SnPb pájecí slitinou a Cu povrchem.[1]



Obr. 1.1 Intermetalický spoj mezi SnPb pájecí slitinou a Cu povrchem (převzato z [3])

Dobré elektrické a mechanické spojení jednotlivých částí je hlavním parametrem správně vytvořeného pájeného spoje. Pájený spoj by měl obsahovat takové množství pájecí slitiny,

aby obrysy vodičů a vývodu součástky byly pod vrstvou z etelny. Povrch pájecí slitiny musí být těmto hladký, spojitý, lesklý nebo matný dle druhu poufleté slitiny. Ostrý smáček úhel α , který by měl být od 15° do 20° , musí být patrný na okrajích pájeného spoje. Na povrchu spoje se nesmí objevit známky znetvoření nebo ostré výstupky a nesmí zůstat obnažený základní kov spojovaných částí.[1]

Zhotovení spoje probíhá postupně v následujících krocích [1]

1. Uvedení pájených částí do vhodné polohy a jejich fixace.
2. Aplikace tavidla a uvedení do aktivního stavu.
3. Ohřev pájeného spoje na pracovní teplotu.
4. Přivedení pájecí slitiny do spoje.
5. Ochlazení zapájeného spoje.
6. Očištění spoje.

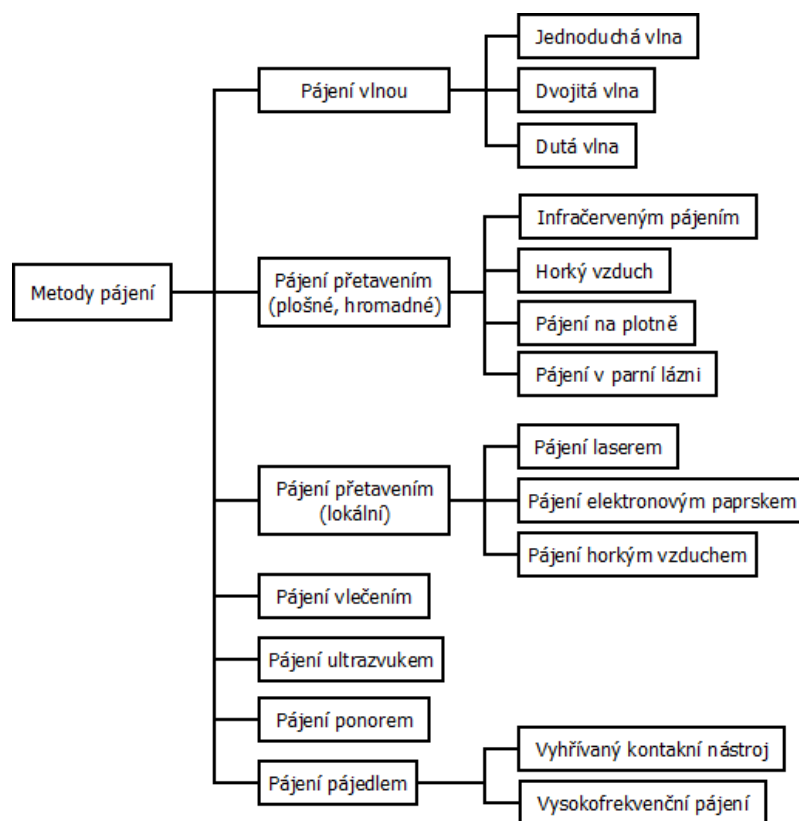
Výše uvedené úkony se mohou místně i časově spojovat i rozdělovat. Ohřev pájeného spoje na pracovní teplotu a postupně přivedení pájecí slitiny do spoje charakterizují druh technologie pájení.[1]

1.2 Druhy pájení

Základní rozdíl mezi druhy pájení je podle teploty tání pájecí slitiny a to na měkké a tvrdé. Za tvrdé lze považovat pájecí slitiny s teplotou tavení v tání nejlépe 500°C . Používají se hlavně tam, kde je spoj namáhaný v tahu, proto jsou využívány v náročnějších aplikacích a z hlediska vysoké teploty tavení nejsou vhodné pro pájení v elektrotechnice. Z tohoto důvodu se v elektrotechnickém průmyslu používá měkké pájení. Za měkké se považuje pájení, u kterého se teplota tavení pájecí slitiny pohybuje pod 500°C . Nejčastěji se používají pájecí slitiny na bázi cínu. V tání měkkých pájecích slitin se dodává ve formě litých tyčí, zrn nebo trubek s náplní tavidla.[2] [3] [4]

Technologie pájení elektronických zařízení prošla mnoha vývojovými stupni. Prvním stupněm bylo ruční pájení pomocí pájedla. Dalším stupněm byly procesy strojní a to vlečení nebo hromadné pájení vlnou, dále vodem zavedení těchto metod byla výroba desek s plošnými spoji. Postupně se tyto technologie rozvinuly a byla nezbytná jejich automatizace. Na které výrobky vyřadily zvláště specializované metody pájení, a proto byly vyvinuty

metody, jako například pájení infračerveným nebo světelným paprskem. Důsledkem různých a náročných požadavků byl vznik značného počtu pájecích technologií, které metody jsou zobrazeny na Obr. 1.2.[2]



Obr. 1.2 Pájecí metody používané v elektrotechnice [2]

Pohledem na dílčí pájecí metody je patrné, že se odlišují způsobem jakým je pájecí slitina přiváděna do spoje a způsobem přístupu tepla do pájeného spoje. Při pájení vlnou, vlečením a namáčením se tekutá pájecí slitina dodává na spoj z pájecí lázně. Některé z dalších technik využívají dodání pájecí slitiny na spoj před pájením ve formě pájecí pasty, která se následně roztaví a vytvoří pájený spoj. Ve specifických případech je možno provést přetavení bez dodání dodatečné pájecí slitiny, při této metodě se využije pájecí slitina na vývodech součástky. Z toho plyne, že části určené ke spojení se nejprve pokryjí pájecí slitinou a poté se tato slitina využije k přetavení.[2]

V současnosti existuje velké množství pájecích technik a postupně se v praxi používají nejčastěji tři metody pájení: pájedlem, vlnou a přetavením. Tyto pájecími metodami je možné pokrýt téměř všechny požadavky elektrotechnického průmyslu. Ostatní metody mají využití převážně u specifických aplikací. Avšak s rostoucí miniaturizací se začínají využívat více i jiné metody a to například selektivní pájení vlnou.[2]

1.3 Pájitelnost

Pájitelnost je soubor vlastností určující vhodnost pro průmyslové pájení [6]. Pájené komponenty není možné pouze zahřát na danou teplotu a dodat pájecí slitinu, ale je nutné pájené komponenty nejprve připravit a zajistit jim odpovídající pájitelnost. Termín pájitelnost povrchu definuje schopnost povrchu být směšitelný roztavenou pájecí slitinou během procesu pájení.[2] [5] Při směšování tuhého povrchu roztavenou pájecí slitinou se tato slitina roztéká po povrchu, slitina postupně získává takový tvar, který má v existujícím systému minimální povrchovou energii.[5]

Pájitelnost zahrnuje 3 hlediska [5] [6]:

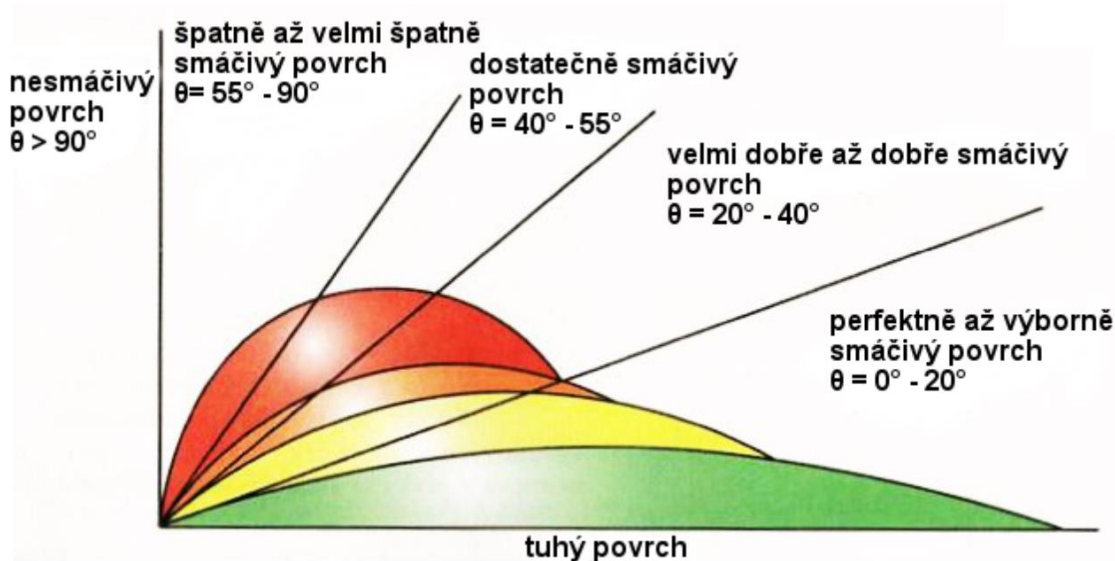
- **Směšivost:** povrch musí umožnit směšování materiálu roztavenou pájecí slitinou během doby vhodné k vytvoření pájeného spoje bez odsměšování.
- **Teplotní požadavek:** je kladen na pájené součástky, které musí umožnit ohřev plochy stanovené k pájení, na požadovanou teplotu během definované doby.
- **Odolnost v níže teplotě při pájení:** teplo a s ním spojené teplotní namáhání pájených částí, nesmí mít vliv na funkci součástek před definovaným limitem.

Směšivost je první fází vzájemné fyzikálně-chemické reakce atomů roztavené pájecí slitiny na povrch spojovaného materiálu. Při směšování dochází k porušení mezifázových sil. Na mezifázových rozhraních vznikají vazby rozrušené po celé ploše dotyku. Důsledkem toho nastává pokles volné povrchové energie celého systému. Při procesu směšování dochází ke spojení roztavené pájecí slitiny a tuhého kovu v jedno mezifázové rozhraní. V tomto mezifázovém rozhraní přecházejí atomy roztaveného kovu do mřížky tuhého kovu. Uskutečňuje se spojení valenčních elektronů kovů a dochází ke vzniku kovové vazby. Nedojde-li k vytvoření společné fáze na spojovaném kovu, nebude ani zaručena odpovídající úroveň směšování. V další fázi pokračuje difúze spojovaných kovů, tento děj je úmírně rychlý. Ve vyšší teplotě nastává také rozpouštění spojovaných částí. V této fázi procesu vytvořený spoj chladne a dochází ke krystalizaci pájecí slitiny. Začínají se utvářet krystalizační zárodky a startuje růst zrn pájecí slitiny. Velikost zrn závisí na rychlosti chladnutí pájecí slitiny, při velmi nízkém chladnutí se vytvářejí větší zrna, která snižují spolehlivost vzniklého spoje.[5]

Stupňová změna lze rozdělit do několika skupin [2]:

- **Nesměřitelnost:** Při této situaci nedojde k vytvoření metalurgické vazby, rozhraní mezi pájecí slitinou a povrchem je stále patrné. Tavidlo ufité k podpoře pájení nepomohlo dostatečně odstranit povrchové znečištění, jelikož oxidovaná vrstva je moc silná nebo tavidlo nebylo dostatečně aktivní.
- **Směřitelnost:** Istež kovový povrch má vyšší povrchovou energii, než roztavená pájecí slitina. Při splnění této podmínky dojde ke smáčení povrchu slitinou a dojde k vytvoření metalurgické vazby na rozhraní. Postupujícím směřením dochází na rozhraní ke tvorbě tenké mezikovové vrstvy a k vytvoření základu pro spolehlivý spoj.
- **Odsměřitelnost:** Vrstvy vznikající na rozhraní, obsahují velké množství cínové směsi. Tento cín je například vytahován z SnPb pájecí slitiny. Postupným odtavováním cínu z pájecí slitiny se objevují místa s větším obsahem olova, která mají relativně slabou pájitelnost. Klesá-li teplota dostatečně dlouho, pak velikost těchto oblastí bude postupující k tomu, že pájecí slitina ustoupí z již dříve směřených míst. Dojde tedy ke vzniku odsměřenosti. Odsměřitelnost se také vyskytuje zespodu pájeného místa, tam kde je vystaveno nesměřitelnému povrchu. Tento jev může vznikat při pájení kontakty z drahých kovů, které se rychle rozpouštějí v pájecí slitině.

Úroveň směření pájeného povrchu pájecí slitinou je podmíněna velikostí aktivních rozhraní i energetickými předpoklady. Směřitelnost lze určit pomocí faktoru roztékavosti, tedy směřením (kontaktním) úhlem. Podle velikosti směřeného úhlu lze rozdělit na různé stupně směření viz. Obr. 1.3. [6]



Obr. 1.3 Rozdělení kontaktních směřených stupňů (převzato z [7])

Poufijeme-li DPS nebo součástky se špatnou pájitelností, nebo uflijeme málo aktivované tavidlo, vznikne obvykle nekvalitní pájený spoj, který nevyhovuje nejen z hlediska vzhledu, ale má i nedostatky v mechanické pevnosti. Čím v tání má pájený povrch povrchové napětí, tedy má lepší směšivost a čím menší je i povrchové napětí roztavené pájecí slitiny, tím kvalitnější bude vzniklý pájený spoj.[5] Během pájecího procesu se vyskytují problémy s pájitelností z různých důvodů.[2]

1.3.1 Problémy pájitelnosti

Oxidace

Principem v tání je problém s pájitelností je oxidace povrchu pájeného materiálu. Tavidlo použité při procesu pájení v tání tento oxid roztáhne a rozptýlí, ale pokud je vrstva silná, tavidlo nemusí dokázat tento oxid odstranit a to kvůli nedostatku aktivace. Povrchová úprava tedy nemusí poskytovat dobrou pájitelnost pájené součásti. Používáme-li pokovovací úpravu, je nutné dostatečně kontrolovat po celé výrobní proces. Není-li povrch základního kovu před pokovením vhodně připraven, zůstávají na povrchu vrstvy oxidu. Tento povrch sám o sobě není pájitelný, ale pokud danou vrstvu elektrochemicky pokovíme. Bude tento povrch vizuálně vyhovovat, ale po následném pájení dojde k rozpuštění povrchové úpravy a výsledkem bude nesměšitelný spoj.[2]

Znečištění

Nečistoty obsažené v pájecích slitinách se do nich dostávají především z vlastního výrobního procesu. Ve slitinách dochází k rozpuštění pokovení vývodů součástek nebo pokovení desek s plošnými spoji. K nejzávažnějším problémům kontaminací pájecích slitin patří znečištění mědí, železem a zlatem. Měď se do pájecích slitin dostává nejčastěji z desek plošných spojů. Zvýšená koncentrace mědi v pájecí slitině ovliví zejména u některých typů slitin teplotu likvidu nebo dochází k samovolným změnám vlastností slitiny. Nejlepší metodou ochrany před kontaminací pájecích slitin mědí, je upravení povrchu měděných vodičů správnou povrchovou úpravou, která znemožní difúzi mědi do pájecí slitiny. Ke kontaminaci železem dochází z materiálů pájecích van, což přispívá k tvorbě intermetalických slitin, které z etelně ovliví kvalitu pájení. Pro zabránění kontaminace pájecí slitiny železem postačí vyhnout se materiálům pro vany na bázi železa nebo je vybavit patřičnou povrchovou

úpravou. Zlato se dostává do pájecí slitiny z pokovení desek s plošnými spoji i v těch, v kterých jsou díry. Zlato svou přítomností ve slitině způsobuje podstatné zkehorčení.[2]

Porézní povrch pájecí slitiny

Poréznost dovoluje zvyšování poréznosti na spodní vrstvě povrchu, a tím způsobuje nesměšování na rozhraní mezi vrstvami. K tomuto jevu jsou obzvláště náchylné nestejnorodé úpravy, jako je například elektrolytické pokovení. S narůstajícím porézním oxidem se snižuje pájitelnost.[2]

1.3.2 Zkoušky pájitelnosti

Zkoušky pájitelnosti jsou díry lze rozdělit na dvě hlavní skupiny. První skupina zahrnuje zkoušky určené pro předpověď, tedy jak budou díry pájitelné v následném výrobním procesu. Do druhé skupiny spadají zkoušky pro akceptovatelné materiály výroby díry a výrobní procesy.[2] Byly vyvinuty různé metody zkoušek jak kvalitativní a kvantitativní změřit pájitelnost. Při kvalitativních zkouškách je pájitelnost posuzována pouze vizuální kontrolou. Plně kvantitativní jsou zkoušky, při kterých se měří skutečné charakteristiky směšování.[6] Všechny zkoušky pájitelnosti, bez ohledu na jejich druh se pokouší změřit poréznost směšování kontaktů a rozsah odsměšování během pájení. Při zvolení vhodného umělého procesu stárnutí umožní zkoušky pájitelnosti předpovídat chování po prodloužené době skladování. Jelikož zkoušky pájitelnosti výroby díry, plošných spojů, atd. zjišťují relativně detailní problémy pájitelnosti, mělo by být použito tavidlo s nízkou aktivitou, aby nedocházelo k ovlivnění citlivosti testu pájitelnosti více aktivovanými tavidly. Existuje velké množství druhů zkoušek pájitelnosti, všechny jsou definovány v normách.[2]

Ponořovací test

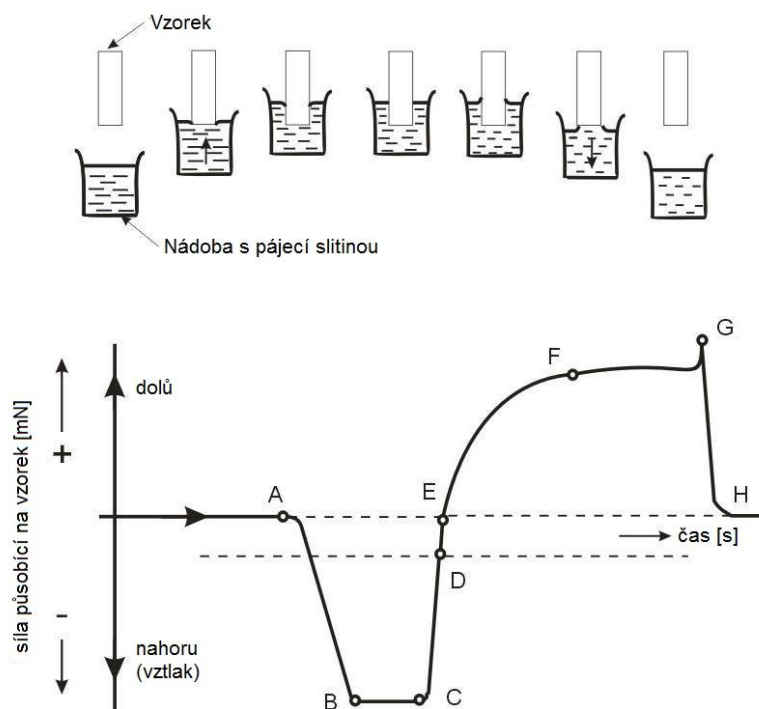
Jedná se o nejjednodušší metodu testování pájitelnosti kontaktů díry. Ponořovací test poskytuje rychlá a levná měření pájitelnosti, která jsou však vysoce subjektivní. Samotný test probíhá až po vhodném procesu stárnutí, který simuluje proces prodlouženého skladování. Nejprve se vzorek ponoří do nádoby se speciálně aktivovaným tavidlem, poté je ponořen do nádoby s roztavenou pájecí slitinou. Po vytažení probíhá vizuální kontrola dle specifických kritérií. Tato kritéria jsou společně s definicí ponořovacího testu uvedena

v normách například v SN 34 5791 nebo SN EN 61 760-1 ED.2. Ponořovací test je kromě kontaktu s roztavenou pájecí slitinou vhodný i pro desky s plošnými spoji.[2] [8]

Metoda smáček vah

Tento postup testování pájitelnosti zajišťuje kvantitativní výsledky, které slouží pro analýzu základních vlastností kontaktů součástek, částí desek plošných spojů atd. Bohužel je tato metoda poměrně ekonomicky náročná, jelikož tester pájitelnosti je velice drahé zařízení a pro většinu firem špatně finančně dostupné. Metoda je definována například v normách SN EN 60068-2-69, SN EN ISO 1224-3, SN EN ISO 9455-16.[2] [8]

Princip činnosti testeru pájitelnosti je uveden na Obr. 1.4. Testovaný vzorek s naneseným tavidlem je pevně pomocí speciálních nástavců a závěsků citlivému měřicímu mechanismu přístroje, který se nazývá meniskograf. Zkoumaný vzorek je nepohyblivý, pohybuje se pouze nádoba s roztavenou pájecí slitinou o konstantní teplotě. Tato nádoba je umístěna pod zkoumaným vzorkem na zdvihacím mechanismu ovládaném pomocí krokového motoru. Elektronické řízení umožňuje měnit rychlost zdvihu a tím i rychlost ponoru. Jelikož jsou všechny pohyby, teploty a časové seřazení řízeny, existuje možnost měření opakovat.[2] [6]



Obr. 1.4 Metoda smáček vah (převzato z [2])

Na Obr. 1.4 je uveden příklad směrové charakteristiky pro válcový vzorek. Kde bodem A je označen poútek styku vzorku s roztavenou pájecí slitinou. Teplota vzorku je zatím nízká a nedochází k podpoře smáčení, proto musí být vzorek vtlačen velkou silou. Sklon křivky mezi body A, B je dán rychlostí, s jakou je vzorek ponořen. V bodě C začíná pájecí slitina smáčet testovaný vzorek a nastává změna působící síly. časový interval mezi body B, C je určen tepelnou kapacitou vzorku a rychlostí přestupu tepla mezi pájecí slitinou a vzorkem. Pájecí slitina nejdříve vytlačuje vzorek směrem nahoru, ale s postupujícím smáčením povrchu dochází dle zákona povrchového napětí ke vtahování vzorku zpět do nádoby. Je tedy potřebné vynaložit určitou sílu na jeho vytažení z nádoby tomu odpovídá křivka mezi body D a F. Bod D je okamžik, ve kterém je povrch pájecí slitiny kolmý na povrch zkoumaného vzorku. Síla působící v bodě D odpovídá vztlakové síle a lze ji vypočítat z rozměrů vzorku, hloubky ponoru a merné hmotnosti pájecí slitiny dle rovnice (1). V bodě E jsou síly, které působí na vzorek v rovnováze, a proto je výslednice těchto sil nulová. Rychlost smáčení povrchu vzorku udává tvar křivky C a F a má rozhodující význam pro definování kvality pájitelnosti. Bodu G odpovídá vrchol křivky, který určuje kdy došlo k úplnému vyjmutí vzorku z lázně. Bod H je konečný stav.[2] [6]

$$F = \gamma \cdot p \cdot \cos\theta - V \cdot \rho \cdot g \quad (1)$$

γ povrchové napětí roztavené pájecí slitiny při použití daného tavidla

p obvod ponořené části vzorku

θ kontaktní úhel smáčení

V objem ponořené části

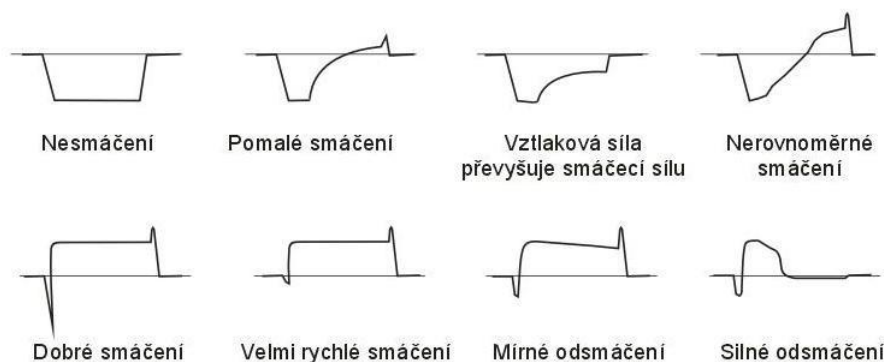
ρ hustota roztavené pájecí slitiny

g gravitační zrychlení

Empiricky bylo zjištěno, že pájitelnost lze charakterizovat pomocí veličiny S , kterou lze vypočítat dle rovnice (2). Laboratorními výsledky bylo zjištěno, že pájitelnost je dobrá pokud S dosahuje hodnot v řádku 5. Při nižších hodnotách se jífl vyskytuje odsmačení.[2]

$$S = \frac{\text{smáčecí síla ve 2. sekundě}}{\text{maximální vytahovací síla} \times \text{doba smáčení}} \quad (2)$$

Při posuzování pájitelnosti metodou smáecích vah se vyhodnocuje časový průběh smáecí síly. Na Obr. 1.5 je uvedeno několik typických průběhů smáecí síly. Ve skutečnosti nemusí být odhadnutí pájitelnosti tak jednoduché nebo jednoznačné. Průběh smáecí síly je u smáivých povrchů modifikován i reakcemi mechanismy na rozhraní povrchových úprav, tavidel a pájecích slitin. Tyto reakční mechanismy ovliví nejen velikost smáecí síly, ale i velikost časového průběhu. Tímto se také potvrzuje složitost a nejednoznačnost této metody testování pájitelnosti.[6]



Obr. 1.5 Příklad typických průběhů časové závislosti smáecí síly (převzato z [2])

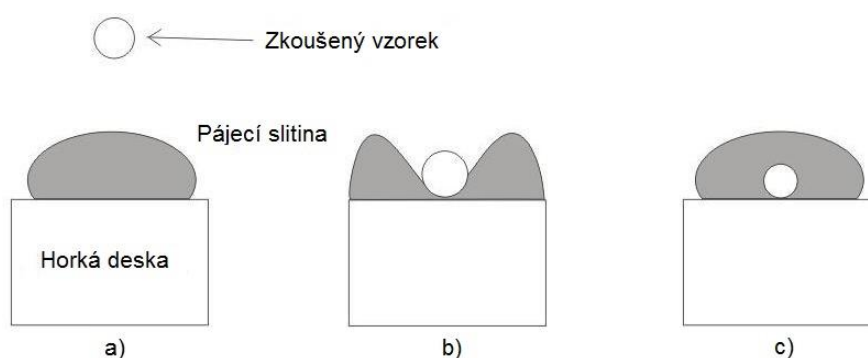
Odolnost proti rozpouštění metalizace

Tento test se užívá k ohodnocení míry, do jaké se rozpustí povrch kontaktů při procesu pájení. Tuto metodu je možné využít na součástky, jako jsou dipové rezistory a tranzistory, které mají na základní vrstvě z drahého kovu nanesen pájitelný povrch.[2]

Pro test se využívá stejných zařízení a metod jako u popisovaného testu. Avšak podmínky testu jsou rozdílné pro urychlení rozsahu rozpouštění. Doporučené podmínky pro testování je teplota pájení $260 \pm 5^\circ\text{C}$ a setrvačnost 30 ± 1 sekunda. Účelem testu je měření množství metalizace ztracené během procesu testování. Kombinovaná ztráta ze všech nespočetných ploch by neměla převýšit 10% celkové plochy elektrody a také nesmí být vnitřní elektrody odhaleny. Odolnost vůči rozpouštění lze měřit i kvantitativně pomocí testeru pájitelnosti, kdy snížení rovinné smáecí síly svědčí o odsmáčení, které by nemělo za podmínek uvedených výše také překročit 10% hranici.[2]

Kuli kový test

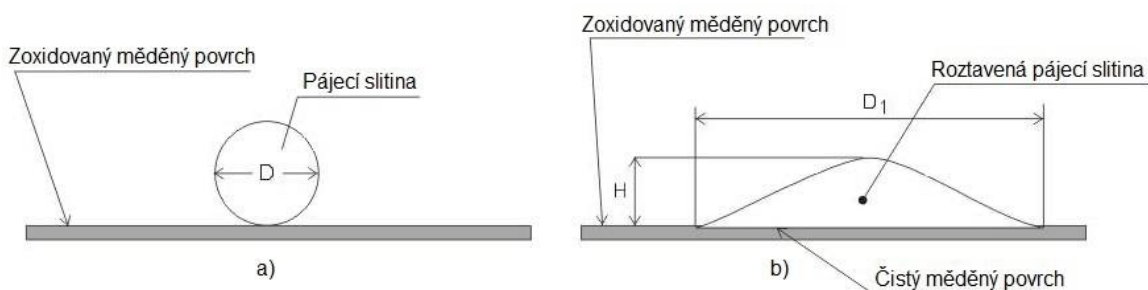
Tento test je nejvhodnější pro testování součástí s rozdílnými vývody, avšak není vhodný pro součástky s malými a blízko u sebe umístěnými vývody. Provedení spočívá v umístění zahřátého testovaného vývodu nebo kontaktu do středu kuličky z pájecí slitiny. Po ponoření vzorku ze stane pájecí slitina rozptýlena dle Obr. 1.6 b), dokud se vlivem smáčení nespojí Obr. 1.6 c). Poté lze proces smáčení se určit buď vizuálně, nebo automaticky a následně se provede jeho vyhodnocení.[2]



Obr. 1.6 Princip kuličkového testu (převzato z [2])

Test roztékavosti

Test je užíván k měření aktivity tavidla nebo roztékavosti pájecí slitiny. Známé množství pájecí slitiny se známým množstvím aplikovaného tavidla je umístěno na měděný povrch s regulovanou tloušťkou oxidace Obr. 1.7 a). Poté je pájecí slitina natavena a slitina se rozprostírá po povrchu Obr. 1.7 b). Velikost rozprostřené plochy je funkcí aktivity tavidla nebo schopnosti roztékavosti pájecí slitiny.[2] [10]



Obr. 1.7 Princip testu roztékavosti (převzato z [2])

Vyhodnocení lze provést změřením roztečené plochy, avšak to bývá občas velice pracné. Další metodou vyhodnocení je měření výšky pájecí slitiny po roztečení. Následně lze vypočítat poměr roztečivosti S_f dle rovnice (3). Tento test lze využít i k určení nejvhodnější teploty pro přetavení pájecí slitiny.[2] [9] [10]

$$S_f = \frac{D - H}{D} \times 100\% \quad (3)$$

D – průměr pájecí slitiny po roztečení

H – výška pájecí slitiny po roztečení

Touto metodou je možné vypočítat i kontaktní smáčecí úhel dle rovnice (4) [9].

$$\sin \theta = \frac{2 \cdot H \cdot R}{H^2 + R^2} \quad (4)$$

H – výška pájecí slitiny po roztečení

R – poloměr pájecí slitiny po roztečení

2 Povrchové úpravy DPS

Jsou to úpravy m d něho povrchu DPS nechrán něho nepájivou maskou, sloufí zejména k ochran ě před oxidací a degradací m d něho povrchu, dále k zaji-t ní del-í doby skladovatelnosti a ke zlep-ení pájitelnosti povrchu.[5] [11] Typ povrchové úpravy musí respektovat v-eobecné pořadavky [5]:

- ***materiálová kompatibilita***

Chemicko-fyzikální kompatibilita s m d ným povrchem DPS ó dobrá smá ivost povrch , slu itelnost s p sobením r zných tavidel i ochranné atmosféry, kompatibilita s nepájivou maskou.

- ***procesní kompatibilita***

Rovinnost povrchu, malá tlou-ka vrstvy a vhodnost pro sou ástky s malou rozte í vývod . Nízky teplotní stres DPS, snadné ízení procesu a údrřba lázn . Teplotní odolnost povrchové úpravy DPS pro vícenásobné teplotní cykly a dobré mechanické a elektrické vlastnosti. Dlouhodobá skladovatelnost i spolehlivost. Typ povrchové úpravy musí respektovat pořadavky na následnou montáfl.

- ***environmentální kompatibilita***

Netoxická povrchová úprava, ekologické zpracování, kompatibilita s environmentálními vlivy ó migrace Ag, r st intermetalických vrstev, r st whisker .

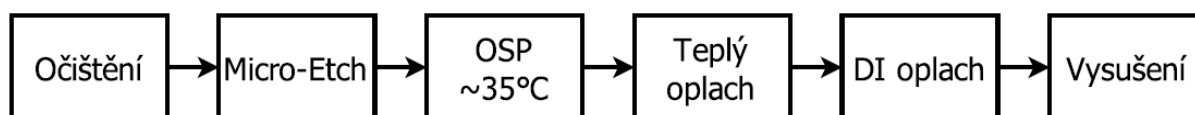
K zaji-t ní t chto pořadavk se pouřívají r zné metody povrchových úprav. Jejich p ehled je uveden na následujících stranách.

2.1 Pájecí laky

Tato metoda povrchové úpravy byla vyuffívána p edev-ím v po átcích elektroniky. Jednalo se o pájecí laky na bázi kalafunové prysky ice rozpu-t ně v organickém rozpou-t dle. Na d ív j-í velké mechanické prvky byl tento zp sob zcela dosta ující. Ani zna ná hygroskopí nost laku nebyla na závadu.[2] Tato metoda spo ívala v naná-ení pájitelného laku st íkáním na celý povrch DPS. Jedná se o jifl dnes p ekonanou metodu, která má v-ak své uplatn ní v amatérské praxi a pro velice specifické a levné DPS.[2] [13]

2.2 OSP

Je metoda chemického nanesení organických inhibitorů, které zabrávají oxidaci Cu [13]. Tato úprava se nanáší pouze na odhalený Cu povrch DPS a to v tónu po tisku nepáživé masky [5]. Vyuffívají se látky na bázi benzoimidazol. Vrstvy jsou vázány k povrchu slabými Van der Waalsovými silami. Tato povrchová úprava je jednoduchá na zpracování, umožní uje opravy, povrch je relativně bez iontových neistot a dosahuje v tónu rovinnosti nejlépe například povrchová úprava HASL. Vytvořená vrstva má vynikající tepelnou a vlhkostní odolnost, je transparentní, bezbarvá a velice slabá přibližně 0,5 μm, avšak proto je obtížná kontrola správného nanesení. [2] [5] [11] Další nevýhodou je kratší doba skladovatelnosti a snížená pájitelnost při vícenásobném teplotním cyklu. Jde o povrchovou úpravu nejvíce vyuffívanou pro jednostranné desky. Tyto desky se vyznačují velice dobrou pájitelností a to i při nízké výrobní ceně ve srovnání s ostatními povrchovými úpravami.[13]



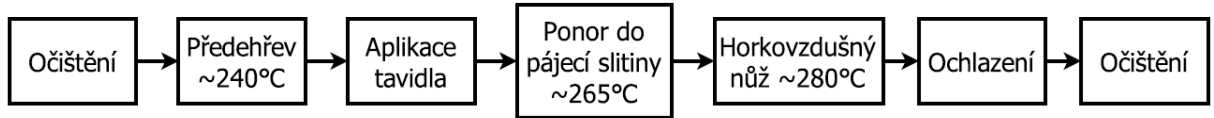
Obr. 2.1 Postup výroby OSP [14]
DI oplach - oplach demineralizovanou vodou

Na Obr. 2.1 je uveden postup výroby povrchové úpravy OSP. Teploty a doby se mění v závislosti na druhu OSP. Je-li potřeba, lze za ně které kroky zahrnout další dodatečné oplachy. Délka celého procesu je přibližně 15 minut.[14]

2.3 HASL

HASL neboli Hot Air Solder Leveling je proces, při kterém je DPS ponořena do roztavené cínové pájecí slitiny (olovnaté nebo bezolovnaté) a při zpětném pohybu ofouknuta horkovzdušnými proudy tak, aby byla pájecí slitina odstraněna z otvorů a z povrchu nepáživé masky. Pro v tónu aplikací povrchové úpravy metodou HASL je pouffívaná bezolovnatá pájecí slitina, která může obsahovat různé slitiny a příměsi například Ni nebo Ge. Tloušťka a struktura povrchové úpravy závisí na povrchovém napětí pájecí slitiny. Tloušťka se pohybuje v rozmezí od 2 μm do 30 μm. Mezi největší výhody HASL patří výborná pájitelnost, dlouhá doba skladovatelnosti a možnost vícenásobného teplotního cyklu. Avšak u takto upravených DPS se objevuje zvýšená úroveň iontového znečištění. Při úpravě HASL se tvoří mezi základní Cu a nanesenou pájecí slitinou intermetalické sloučeniny. Povrch vykazuje

horí rovinnost, proto není úprava vhodná pro pájení součástek s malou roztečí vývodů. Při ponoru DPS do roztavené pájecí slitiny dochází k výraznému teplotnímu šoku, který je spojen se ztrátou základní Cu a její difúzí do pájecí slitiny za vzniku intermetalických sloučenin. Zároveň s tímto procesem může docházet k plošné deformaci DPS. I přes tyto nevýhody je tato metoda velice využívána.[12] [13]



Obr. 2.2 Postup výroby HASL [14]

Na Obr. 2.2 je naznačen postup výroby povrchové úpravy HASL. Teploty a doby jednotlivých operací jsou variabilní dle druhu pájecí slitiny a zvolené techniky ponoru a ofuku horkovzdušnými noži.[14]

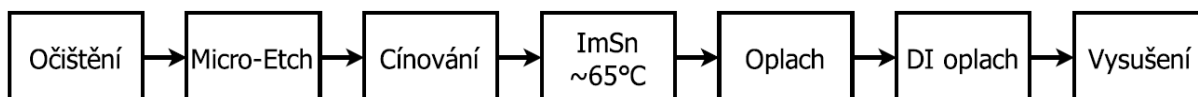
2.4 Pletavení slitinou Sn/Pb

Jde o ofsetový způsob nanesení cínu na Cu plochy. Roztavený cín je z brodicího válce natisknut na Cu motiv. U jednoduchých motivů je možné dosáhnout velmi nízké ceny a pájitelnosti srovnatelné s HASL. Povrch se po této metodě vyznačuje malou rovinností, proto je nevhodný pro SMD technologie a pro pokovené otvory. Nevýhodou je také použití olovnaté slitiny, avšak je možné použít i bezolovnaté pájecí slitiny. Tato metoda je vhodná pouze pro malosériovou a vzorkovou výrobu.[2]

2.5 ImSn

Imersní cín nebo také chemický cín je metoda chemického nanesení tenké vrstvy cínu přímo na odhalený Cu povrch. Chemický cín vytváří velice tenké vrstvy, obvykle 0,9 až 1,1 μm, které chrání Cu před oxidací a poskytují dobře pájitelný povrch. Touto metodou lze dosáhnout velké rovinnosti povrchu, což je hlavní parametr pro využití u SMD technologií.[12] [13] Vzhledem k velké citlivosti tenké vrstvy imersního cínu na vlhkost a vyšší teploty je nutné dodržovat při manipulaci a skladování doporučené podmínky. Splněním skladovacích podmínek, tedy dodržení teploty <25°C a relativní vlhkosti <50%, je možné dosáhnout dobré pájitelnosti po dobu až 6 měsíců. Další z nevýhod je obsah thiomovin (karcinogenních látek), které se využívají jako redukční činidla.[12] [15]

K obvyklým defektům této metody patří vznik intermetalických vrstev, cínových whiskerů nebo cínového moru [5]. I přes tyto nevýhody je chemický cín využíván ve větší míře oproti ostatním imersním kovům a to kvůli nižší výrobní ceně a menší náročnosti výrobního procesu [2].

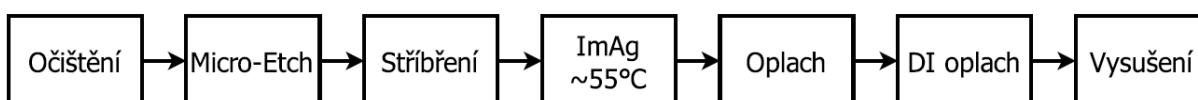


Obr. 2.3 Postup výroby ImSn [14]
DI oplach - oplach demineralizovanou vodou

Na Obr. 2.3 je znázorněn postup výroby povrchové úpravy imersním cínem. Teplota a čas daných operací se mění v závislosti na použitém druhu Sn. V případě potřeby lze do procesu zařadit další oplachy. Délka celého procesu je přibližně 30 minut.[14]

2.6 ImAg

Výroba povrchové úpravy imersním stříbrem je velice podobná procesu imersním cínem. Po ponoření DPS do kyselého roztoku s ionty Ag, dojde k nahrazení Cu iontů z povrchu DPS ionty Ag. Touto reakcí se vytvoří velice tenká vrstva Ag, typicky od 0,15 do 0,3 μm.[15] Tento povrch je velice hladký, poskytuje velmi dobrou pájitelnost i po relativně dlouhých dobách skladování. Avšak u ImAg nastávají několik neřádných jevů. Jedním z nich je tzv. plíživá koroze, kterou způsobuje oxid siřičitý obsažený v atmosféře. Ten způsobí vznik černé vrstvy sulfidu stříbrného na povrchu Ag, který zhoršuje pájitelnost povrchu. Proto je povrch Ag často dodatečně chráněn organickými vrstvami nebo chromany. Dalším jevem je vznik mikrootvorů podél Cu povrchu.[15] [16] Důsledkem těchto neřádných jevů se tato povrchová úprava příliš v praxi neprosadila [2].

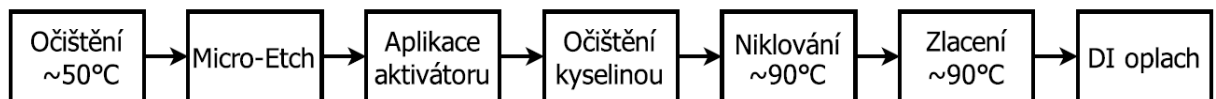


Obr. 2.4 Postup výroby ImAg [14]
DI oplach - oplach demineralizovanou vodou

Na Obr. 2.4 je uveden postup výroby povrchové úpravy ImAg. Teplota a čas jednotlivých operací se liší podle typu použitého Ag. Do procesu je možné zahrnout další dodatečné oplachy. Délka celého procesu je přibližně 30 minut.[14]

2.7 ENIG

Tato povrchová úprava využívá výborných vlastností zlata, které za skladovacích podmínek netvoří oxidy a dobré pájitelnosti niklu. Povrchová úprava se nejprve aplikuje bezproudým pokovením Ni na odhalený Cu povrch DPS a následně chemickým nanesením zlata na vrstvu Ni.[2] [12] Mezi vrstva Ni je tlustá 3 až 5 μm a zaručuje dobrou pájitelnost a zabráňuje růstu intermetalických vrstev mezi Sn a Cu. Avšak samotnou vrstvu Ni není možné použít, jelikož velice rychle oxiduje, a proto se jako krycí vrstva využívá tenká vrstva Au minimálně 0,05 μm. ENIG se vyznačuje velkou rovinností povrchu, dobrou pájitelností a dlouhou dobou skladování, proto je tato povrchová úprava vhodná pro SMD technologie, součástky s malou roztečí vývodů nebo pro kontaktování. Tato metoda má několik nevýhod, jednou z nich je difúze Au do pájecí slitiny, při vysoké koncentraci Au v pájecí slitině dochází ke křehnutí spoje a snížení jeho mechanických vlastností. Další jevem ovlivující mechanické vlastnosti je nemožnost vzniku intermetalických vrstev mezi Sn a Cu, tato vrstva je pevnější než vzniklá intermetalická vrstva SnAuNi. Proto není vhodné tuto povrchovou úpravu používat u mechanicky namáhaných spojů. Další nevýhodou je možnost vzniku černých plošek na povrchu Ni, které snižují pájitelnost povrchu.[2] [15] [16] Jedná se však o technologicky náročný, nepatrně viditelný a poměrně drahý výrobní proces [2]. Proto je ENIG využíván pouze pro některé specifické aplikace.



Obr. 2.5 Postup výroby ENIG [14]
DI oplach - oplach demineralizovanou vodou.

Na Obr. 2.5 je naznačen postup výroby povrchové úpravy ENIG. Teploty a doby jednotlivých operací se liší podle použitého typu Ni a Au. Po každém kroku lze v případě potřeby zařadit oplach. Délka celého procesu je přibližně 60 minut.[14]

2.8 Porovnání povrchových úprav

Jedním z nejdůležitějších rozhodnutí návrháře DPS je správný výběr povrchové úpravy. Bohužel z povrchových úprav nelze vybrat jednu nejlepší a univerzální metodu, jelikož každá úprava má své dobré i špatné vlastnosti. Volba povrchové úpravy je založena na kompromisech, které vlastnosti jsou pro nás důležité a které nikoliv.[17] V tabulce *Tab. 2.1* je uvedeno srovnání některých povrchových úprav z různých hledisek.

Tab. 2.1 Srovnání některých povrchových úprav [5] [14] [18]

	OSP	HASL	ImSn	ImAg	ENIG
Vícenásobný teplotní cyklus	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Rovinnost povrchu	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano
Tloušťka vrstvy [um]	0,5	2 - 30	0,9 - 1,1	0,15 - 0,3	3 - 5
Pro součástky s malou rozteží vývod	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano
Kontaktování	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano
Teploty nad 65°C	Ne	Ano	Ne	Ne	Ano
Údržba lázní	Snadná	Obtížná	Snadná	Snadná	Střední
Řízení procesu	Snadné	Střední	Snadné	Snadné	Obtížné
Náklady	Nízké	Střední	Nízké	Střední	Vysoké
Skladovatelnost [m síť]	< 6	12	až 6	6 - 12	až 12
Odolnost proti korozi	Střední	Dobrá	Dobrá	Špatná	Střední

3 Testování pájitelnosti

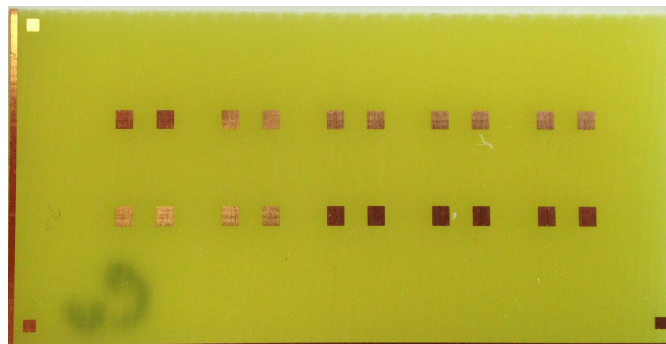
3.1 Výběr metody testování pájitelnosti

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení vlivu povrchových úprav DPS na pájitelnost. Na základě rešerše vypracované v předchozích kapitolách byla jako nejvhodnější vybrána metoda testování pájitelnosti pomocí testu roztékavosti. Tato metoda byla vybrána s ohledem na svou vhodnost pro testování roztékavosti pájecí slitiny a možnost nejlépe tento test realizovat v laboratorních katedry technologií a měření. Tato katedra poskytla i vzorky DPS s povrchovými úpravami použité pro testování pájitelnosti.

3.2 Vzorky použité pro testování pájitelnosti

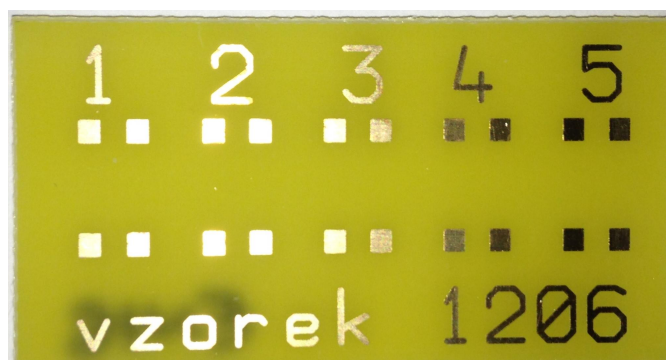
Pro test byly použity čtyři různé DPS, tři z nich byly upraveny povrchovou úpravou, tvrdá DPS byla pouze čistá Cu, tedy bez povrchové úpravy.

Vzorek .1 - DPS s Cu ploškami, bez povrchové úpravy.



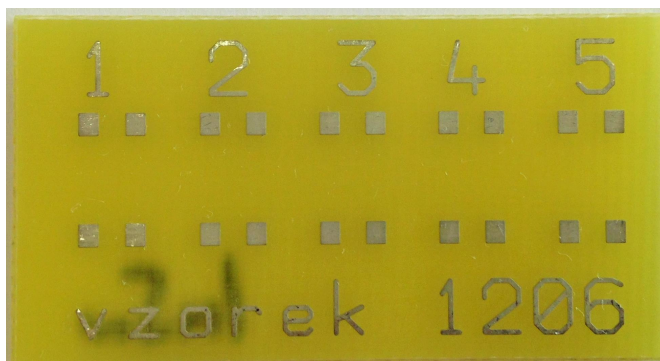
Obr. 3.1 DPS bez povrchové úpravy

Vzorek .2 - DPS s Cu ploškami a aplikovanou povrchovou úpravou ENIG.



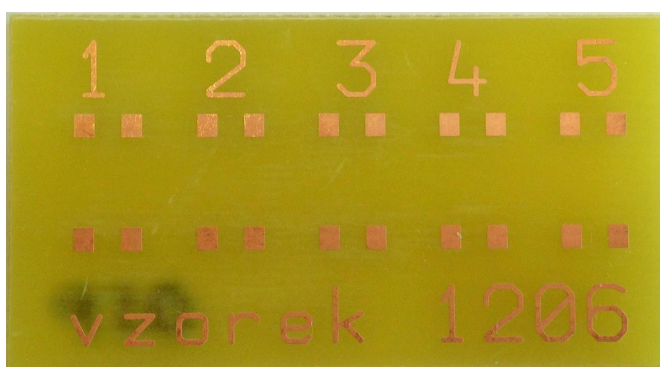
Obr. 3.2 DPS s povrchovou úpravou ENIG

Vzorek .3 - DPS s Cu ploškami a aplikovanou povrchovou úpravou ImSn.



Obr. 3.3 DPS s povrchovou úpravou ImSn

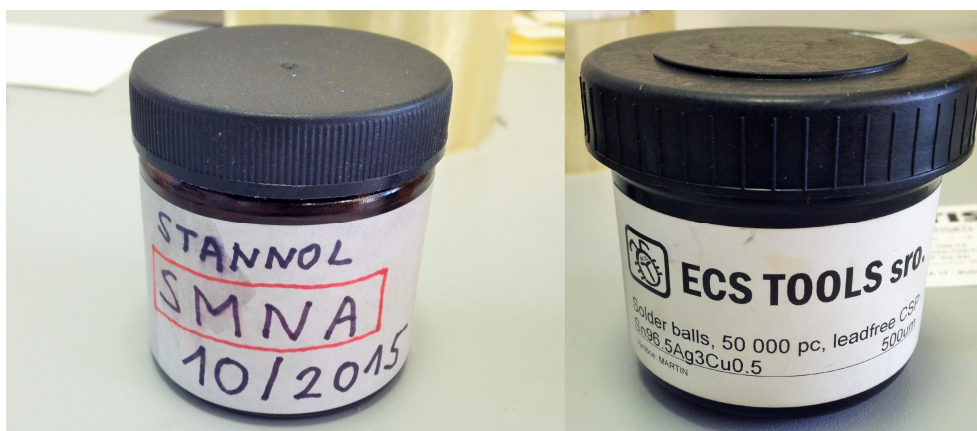
Vzorek .4 - DPS s Cu ploškami a aplikovanou povrchovou úpravou OSP.



Obr. 3.4 DPS s povrchovou úpravou OSP

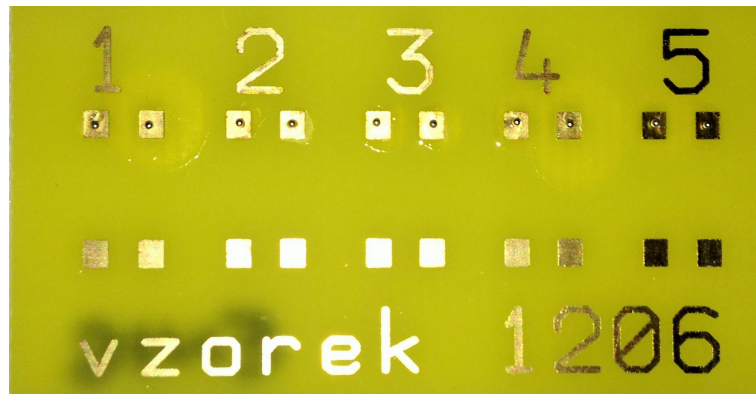
3.3 Provedení testu roztékavosti

Před provedením testu bylo nutné připravit a zkontrolovat testované DPS z hlediska mechanického poškození po vizuální stránce. Zkoušené vzorky nebylo nutné očišťovat, jelikož povrchové úpravy zajišťují ochranu před oxidací a nečistotami, pouze u vzorku bez povrchové úpravy bylo potřeba očišťovat oxidy pomocí pryfle.



Obr. 3.5 Použité tavidlo STANNOL SMNA a kuličky SAC pájecí slitiny

V dalším kroku bylo naneseno tavidlo STANNOL SMNA (Obr. 3.5) toto tavidlo je neaktivované, aby nedocházelo k ovlivování testu pájitelnosti. Nanesení bylo provedeno pomocí plné jehly, tak aby celá pájecí plocha byla pokryta tavidlem. Na pájecí plochy s tavidlem byly v další fázi, pomocí zahnuté pinzety, umístěny kuličky SAC pájecí slitiny o velikosti 500 m (Obr. 3.5). Kuličky byly umístěny na deset pájecích ploch každého testovaného vzorku. Způsob nanesení tavidla a kuliček SAC pájecí slitiny na vzorku s povrchovou úpravou ENIG je zobrazen na Obr. 3.6. Tento postup byl aplikován na všechny vzorky použité v testu pájitelnosti.



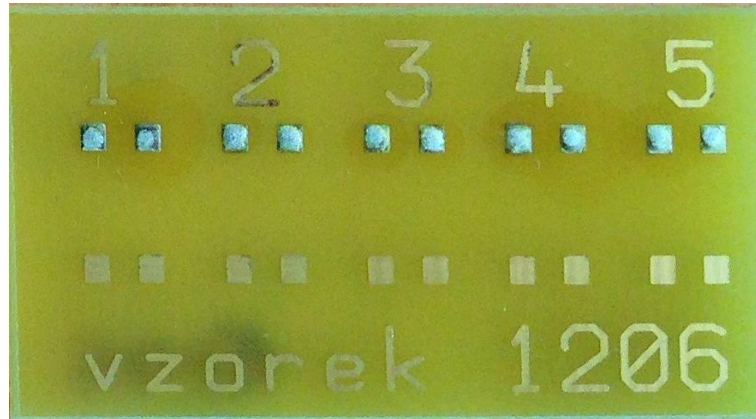
Obr. 3.6 DPS s povrchovou úpravou ENIG po aplikaci tavidla a umístění kuliček pájecí slitiny

V další části testování pájitelnosti byly použité vzorky přetaveny v pájecí peci Asscon QUICKY 300, která umožňuje pájení přetavením pomocí horkých par. Přetavení bylo provedeno při teplotě 230°C a pájecí cyklus trval přibližně 20 minut.



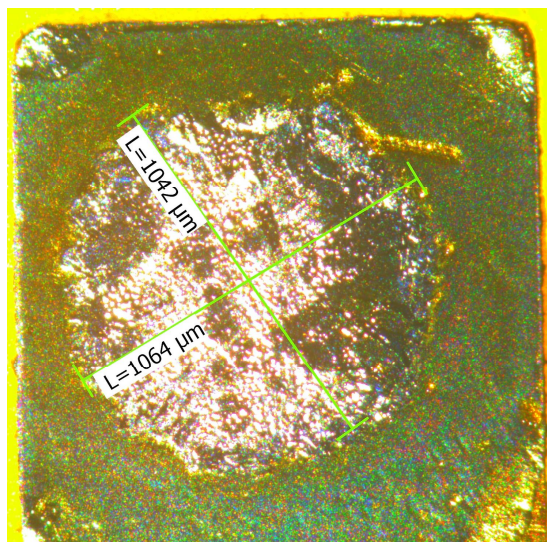
Obr. 3.7 Pájecí pec pro přetavení v horkých parách

Po p etavení v pájecí peci bylo nutné nechat vzorky vychladnout na pokojovou teplotu. Chladnutí probíhalo p rozenou cestou. Po vychladnutí bylo možné p istoupit k m ení pr m ru a vý-ky rozte ené pájecí slitiny. Na *Obr. 3.8* je ukázka DPS s povrchovou úpravou ENIG po p etavení v pájecí peci a po vychladnutí.



Obr. 3.8 DPS s povrchovou úpravou ENIG po p etavení v pájecí peci

M ení pr m ru rozte ené pájecí slitiny bylo provedeno pomocí mikroskopu Olympus SZX10. U každé pájecí plo-ky byly zm eny dv hodnoty pr m ru D_1 a D_2 . Princip m ení je zobrazen na *Obr. 3.9*, kde je snímek p etavené pájecí slitiny na pájecí plo-ce DPS s povrchovou úpravou ENIG.



Obr. 3.9 Princip m ení pr m ru rozte ené pájecí slitiny

M ení vý-ky pájecí slitiny bylo provedeno pomocí mikrometru. Před m ení bylo nejprve nutné provést kalibraci mikrometru, pomocí volných plo-ek na vzorku. Následn byly zm eny vý-ky rozte ené pájecí slitiny na v-ech vzorcích DPS.

3.4 Naměřené hodnoty

V tabulkách *Tab. 3.1* a *Tab. 3.4* jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty pro jednotlivé vzorky DPS.

Kde: H označuje výšku přetavené pájecí slitiny

D_1, D_2 změřené hodnoty průměru

D průměrná z naměřených hodnot průměru

Tab. 3.1 Naměřené hodnoty vzorku .1

Vzorek .1	čistá Cu				
	Pločka	H [μm]	D_1 [μm]	D_2 [μm]	D [μm]
1.		439	502	513	507,5
2.		446	497	498	497,5
3.		406	489	494	491,5
4.		418	469	503	486
5.		431	479	484	481,5
6.		417	488	508	498
7.		359	519	528	523,5
8.		402	497	499	498
9.		413	493	494	493,5
10.		419	506	512	509

Tab. 3.2 Naměřené hodnoty vzorku .2

Vzorek .2	Povrchová úprava ENIG				
	Pločka	H [μm]	D_1 [μm]	D_2 [μm]	D [μm]
1.		60	1269	1314	1291,5
2.		59	968	1089	1028,5
3.		55	1337	1340	1338,5
4.		58	1303	1318	1310,5
5.		54	1185	1192	1188,5
6.		56	1221	1268	1244,5
7.		55	1339	1342	1340,5
8.		60	1042	1064	1053
9.		57	1205	1218	1211,5
10.		58	1125	1134	1129,5

Tab. 3.3 Naměřené hodnoty vzorku .3

Vzorek .3	Povrchová úprava ImSn				
	Pločka	H [μm]	D_1 [μm]	D_2 [μm]	D [μm]
1.		454	494	496	495
2.		447	486	495	490,5
3.		443	496	497	496,5
4.		447	486	510	498
5.		461	503	515	509
6.		439	502	503	502,5
7.		446	491	503	497
8.		440	499	522	510,5
9.		456	491	492	491,5
10.		472	487	493	490

Tab. 3.2 Naměřené hodnoty vzorku .4

Vzorek .4	Povrchová úprava OSP				
	Pločka	H [μm]	D_1 [μm]	D_2 [μm]	D [μm]
1.		462	488	494	491
2.		179	935	950	942,5
3.		180	894	1001	947,5
4.		176	915	983	949
5.		169	1013	1017	1015
6.		178	911	970	940,5
7.		198	863	873	868
8.		186	888	946	917
9.		187	904	934	919
10.		206	884	925	904,5

3.5 Výsledky měření

Pro výpočet hodnot směrnice úhlu a poměru roztékavosti byly použity vztahy z teoretické části 1.3.2 týkající se popisu testu roztékavosti. Výpočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách Tab. 3.5 a Tab. 3.6.

Tab. 3.5 Výpočtené hodnoty poměru roztékavosti

Poměr roztékavosti	[%]			
Pločka	Cu	ENIG	ImSn	OSP
1.	13,498	95,354	8,283	5,906
2.	10,352	94,263	8,869	81,008
3.	17,396	95,891	10,775	81,003
4.	13,992	95,574	10,241	81,454
5.	10,488	95,456	9,430	83,350
6.	16,265	95,500	12,637	81,074
7.	31,423	95,897	10,262	77,189
8.	19,277	94,302	13,810	79,716
9.	16,312	95,295	7,223	79,652
10.	17,682	94,865	3,673	77,225
Průměr	16,67	95,24	9,52	72,76

Tab. 3.6 Výpočtené hodnoty směrnice úhlu

Směrnice úhel	[°]			
Pločka	Cu	ENIG	ImSn	OSP
1.	60,057	10,617	57,194	55,971
2.	58,300	13,090	57,503	41,598
3.	62,373	9,396	58,531	41,608
4.	60,342	10,117	58,240	40,701
5.	58,374	10,385	57,803	36,836
6.	61,685	10,285	59,567	41,466
7.	72,192	9,382	58,251	49,047
8.	63,548	13,003	60,237	44,162
9.	61,713	10,751	56,643	44,289
10.	62,549	11,727	54,865	48,979
Průměr	62,11	10,88	57,88	44,47

Tab. 3.7 Průměrné hodnoty naměřených hodnot

Průměr	Cu	ENIG	ImSn	OSP
H [μm]	415	57,2	450,5	212,1
D [μm]	498,6	1213,7	498,1	889,4

Příklad výpočtu pro vzorek .2 - DPS s povrchovou úpravou ENIG, pločka .7

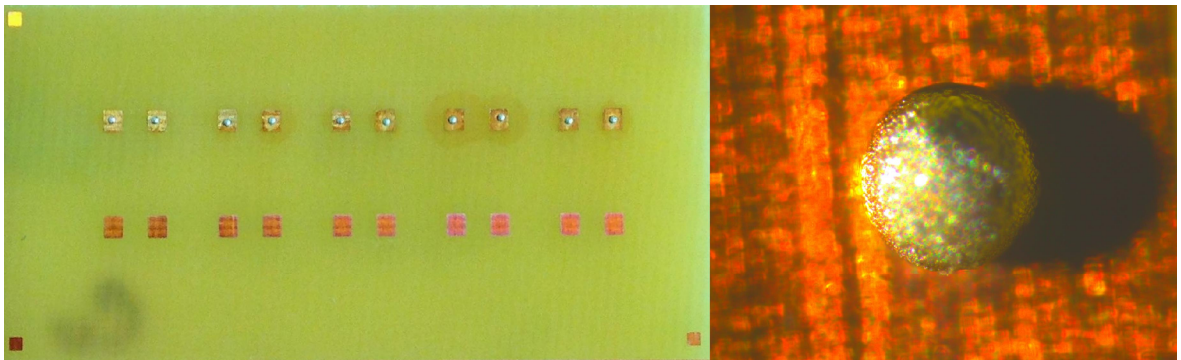
$$\text{poměr roztékavosti} = \frac{D - H}{D} \times 100 = \frac{1340,5 - 55}{1340,5} \times 100 = \underline{\underline{95,897\%}}$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{2 \cdot H \cdot R}{H^2 + R^2}\right) = \arcsin\left(\frac{2 \cdot 55 \cdot 670,25}{55^2 + 670,25^2}\right) = \arcsin(0,16302) = \underline{\underline{9,382^\circ}}$$

$$R = \frac{D}{2} = \frac{1340,5}{2} = 670,25 \mu\text{m}$$

Vzorek .1 - DPS bez povrchové úpravy

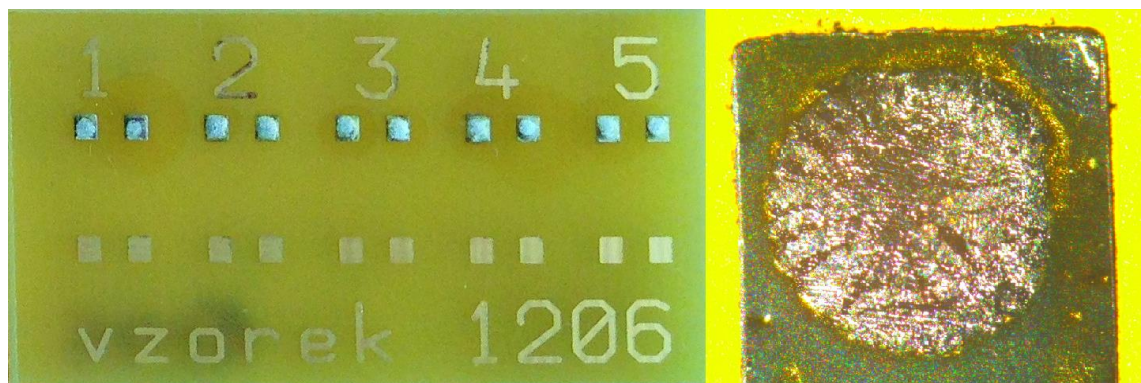
Z naměřených hodnot je patrné, že po přetavení pájecí slitiny na DPS bez povrchové úpravy téměř nedošlo k jejímu roztečení, jelikož průměrná hodnota průměru pájecí slitiny po přetavení je 498,6 μm . Tato hodnota je téměř shodná s průměrnou velikostí kuličky pájecí slitiny, která byla 500 μm . Podobná tomu je i výška po přetavení pájecí slitiny, která klesla na průměrnou hodnotu 415 μm . Tyto hodnoty poukazují na to, že se kulička pájecí slitiny téměř neroztekla, tuto skutečnost potvrzuje Obr. 3.10 i vypočtený poměr roztékavosti, který dosáhl průměrné hodnoty 16,67% a průměrný směrový úhel dosáhl vysoké hodnoty 62,11°. Dle Obr. 1.3 je možné určit, že se jedná o –patrně velmi –patrně směrový i pájitelný povrch.



Obr. 3.10 DPS bez povrchové úpravy před přetavením (vlevo) a zvětšená pájecí plozka .6

Vzorek .2 - DPS s povrchovou úpravou ENIG

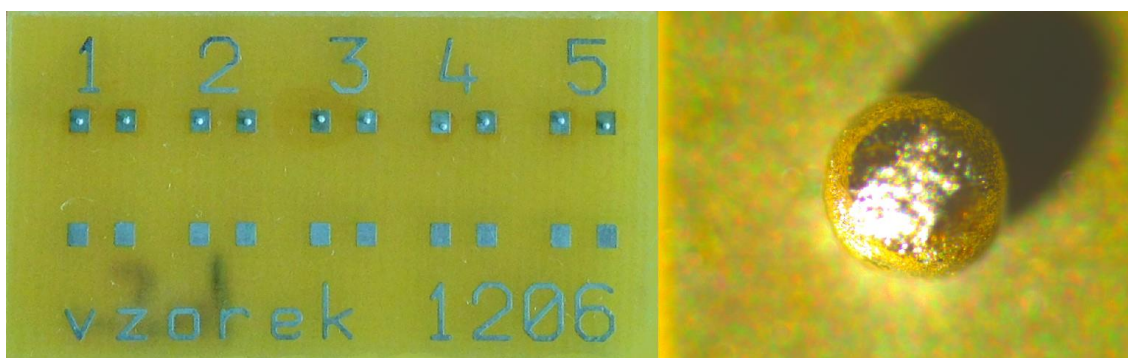
Na DPS s povrchovou úpravou ENIG, průměr pájecí slitiny po přetavení vzrostl na více jak dvojnásobek průměrné hodnoty a to na hodnotu 1213,7 μm . Zároveň došlo i k výraznému poklesu výšky pájecí slitiny na hodnotu 57,2 μm . Naměřené hodnoty svědčí o velkém roztečení pájecí slitiny. To potvrzuje obrázek Obr. 3.11 i vypočtené hodnoty, jelikož průměrná hodnota poměru roztékavosti je 95,24% a průměrný směrový úhel na této povrchové úpravě je 10,88° ze kterého lze dle Obr. 1.3 určit, že se jedná o povrch výborně směrový.



Obr. 3.11 DPS s povrchovou úpravou ENIG před přetavením (vlevo) a zvětšená pájecí plozka .10

Vzorek .3 - DPS s povrchovou úpravou ImSn

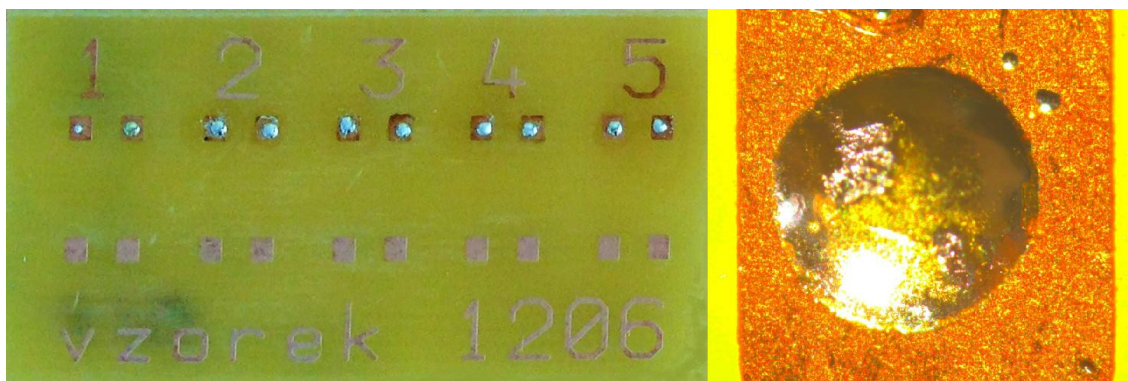
Na tomto vzorku s povrchovou úpravou ImSn nedošlo k téměř žádnému roztečení pájecí slitiny. Tento jev lze pozorovat na *Obr. 3.12*, kterému odpovídají i naměřené hodnoty. Průměrná výška pájecí slitiny je 450,5 μm a průměrná hodnota průměru pájecí slitiny je 498,1 μm . Tyto hodnoty se téměř neliší od povodních hodnot a proto i průměrná hodnota průměru roztékavosti dosáhla pouze 9,52%. Průměrný směrový úhel vzorku je 57,88°, hodnota dle *Obr. 1.3* spadá do rozmezí pro špatně a velmi špatně pájitelné povrchy.



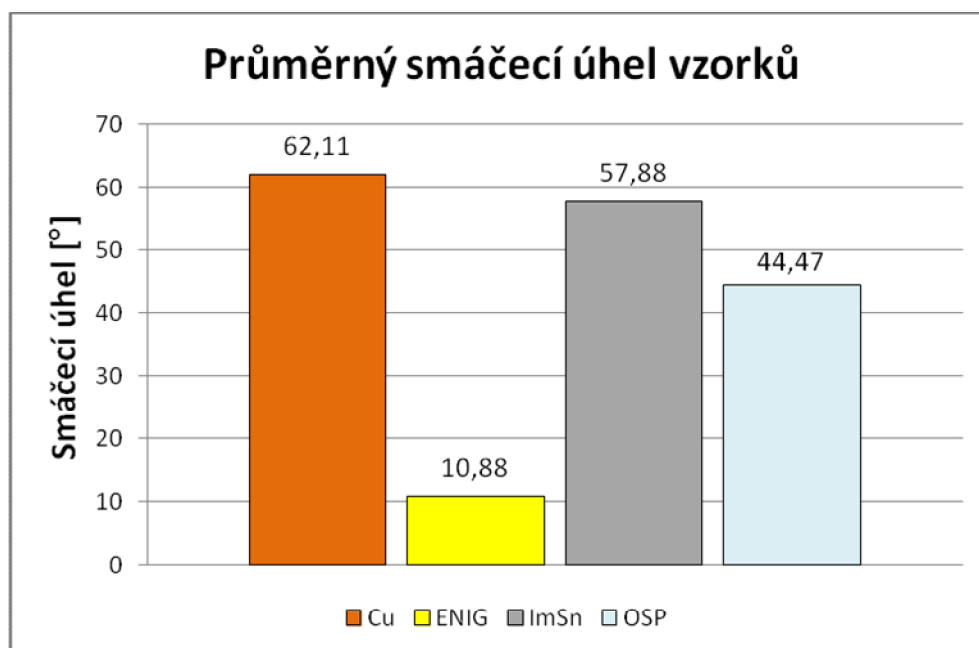
Obr. 3.12 DPS s povrchovou úpravou ImSn před měření (vlevo) a zvětšená pájecí ploška .2

Vzorek .4 - DPS s povrchovou úpravou OSP

Na DPS upravené povrchovou úpravou OSP dosáhla průměrná hodnota průměru pájecí slitiny po roztečení na 889,4 μm a průměrná výška pájecí slitiny hodnoty 212,1 μm . Z naměřených hodnot je patrné, že došlo k dobrému roztečení pájecí slitiny, to potvrzuje *Obr. 3.13* i vypočtený průměr roztékavosti, který dosáhl průměrné hodnoty 72,76%. Průměrný směrový úhel vzorku je 44,47°, který dle *Obr. 1.3* odpovídá dostatečně směrovému povrchu.



Obr. 3.13 DPS s povrchovou úpravou OSP před měření (vlevo) a zvětšená pájecí ploška .2



Obr. 3.14 Graf zobrazující průměrné hodnoty smáčecího úhlu vzorků

Z Obr. 1.3 je zřejmé, že čím nižší je hodnota smáčecího úhlu, tím má povrch lepší smáčivost. Na obrázku Obr. 3.14 jsou zobrazeny průměrné hodnoty smáčecího úhlu pro jednotlivé vzorky. Nejnižší hodnoty smáčecího úhlu dosáhla povrchová úprava ENIG a to hodnoty 10,88°. Tato hodnota odpovídá výborné smáčivosti, kterou potvrzuje i vypočtený poměr roztékavosti 95,24%. Nejhorším z testovaných vzorků byl vzorek bez povrchové úpravy. Hodnota smáčecího úhlu pro DPS bez povrchové úpravy dosáhla hodnoty 62,11°. Tento výsledek se dal předpokládat, jelikož povrchové úpravy zlepšují po dobu své životnosti výrazně výslednou smáčivost a proto ostatní vzorky s povrchovou úpravou dosahovaly lepších výsledků. Avšak u DPS s povrchovou úpravou ImSn je průměrná hodnota smáčecího úhlu pouze o 4,23° menší, to je nejspíše způsobeno stáří povrchové úpravy nebo nevhodnými skladovacími podmínkami.

Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s problematikou povrchových úprav a vypracovat pohled poufívaných úprav. Následně navrhnout, zpracovat a vyhodnotit experiment týkající se pájitelnosti vybraných povrchových úprav.

V první kapitole byly stručně shrnuty základy pájení, tvorba pájeného spoje, pojem pájitelnosti a parametry ovlivňující pájitelnost. Jelikož součástí této bakalářské práce byl i návrh experimentu, obsahuje tato část i re-er-i metod poufívaných pro testování pájitelnosti. Další kapitola obsahuje pohled poufívaných povrchových úprav DPS. V poslední kapitole je popsán postup a výsledky experimentu.

Pro experiment byly použity tři DPS s povrchovou úpravou (ENIG, ImSn, OSP) a jedna DPS bez povrchové úpravy. Každá z desek obsahovala dvacet pájecích plošek, pro měření pro test jejich bylo využito deset. Testování pájitelnosti jednotlivých vzorků bylo provedeno pomocí testu roztékavosti. Díky tomuto testu bylo možné vypočítat poměr roztékavosti pájecí slitiny po přetavení a její směrový úhel, který určuje výslednou pájitelnost DPS. Tímto experimentem bylo ověřeno, že všechny zkoumané povrchové úpravy mají vliv na výslednou pájitelnost, a proto je výhodné se výběrem vhodné úpravy dostatečně seznámit. Jelikož nelze vybrat jednu univerzální povrchovou úpravu, je nutné pro každou aplikaci najít pomocí různých testů nejvhodnější úpravu, která bude splňovat všechny požadované parametry, avšak ve většině případů na úkor jiných parametrů. Například povrchová úprava ENIG v tomto testu vyšla jako nejlepší úprava z hlediska pájitelnosti. ENIG se tělí vyznačuje velkou rovinností povrchu a dlouhou dobou skladovatelnosti. Jejím velkým negativem je náročné a drahý proces výroby. Jedna z nejlepších úprav v poměru vlastnosti/náklady je OSP, která je velice vhodná pro méně náročné aplikace, avšak je téměř nemožné provést kontrolu správného nanášení, jelikož je vrstva velice tenká a většinou bezbarvá.

V současnosti existuje na trhu velké množství povrchových úprav ze kterého je možné vybrat vhodnou metodu pro téměř jakoukoliv aplikaci. Také pokračuje neustálý vývoj nových technologií a materiálů, je tedy možné, že zanedlouho bude k dispozici univerzální povrchová úprava vhodná pro všechny aplikace a dostupná pro všechny.

Seznam literatury a informa ních zdroj

- [1] MACH, Pavel, SKO IL, Vlastimil a URBÁNEK, Jan. Montážl v elektronice: pouzd ení aktivních sou ástek, plo-né spoje. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VUT, 2001. 440 s. ISBN 80-01-02392-3.
- [2] ABEL, Martin a CIMBUREK, Vladimír. Bezolovnaté pájení v legislativ i praxi. Vyd. 1. Pardubice: ABE.TEC, 2005. 179 s. ISBN 80-903597-0-1.
- [3] Pájený spoj. *SMT centrum* [online]. 2010 [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/pajeny-spoj-pajitelnost/pajeny-spoj/>
- [4] KURCIK, Jan. Pájení a lepení. TECHNOLOGIE STROJE A ZA ÍZENÍ [online]. 2012 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T09.pdf>
- [5] STARÝ, Ji í a Petr KAHLE. Plo-né spoje a povrchová montážl. *Vysoké u ení technické v Brn* [online]. 2011 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/metmel/studijni-pomucky/METMEL_11_SP_BPSM_Plosne_spoje_a_povrchova_montaz.pdf
- [6] HARANT, Petr a Franti-ek STEINER. Testování pájitelnosti metodou smá ecích vah. *Z U Plze* [online]. 2007 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/xmlui/bitstream/handle/11025/392/r0c1c8.pdf?sequence=1>
- [7] STOKLASA, Franti-ek. Pájecí slitiny. *COPTTEL - Elektrotechnika* [online]. 2010 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://copttel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=6096>
- [8] Solderability Testing. *SIX SIGMA* [online]. 2006 [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.sixsigmaservices.com/solderability.asp>
- [9] NOVAK, Tomas a Frantisek STEINER. The area of spread solderability test use for roughness influence assessment. In: 33rd International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE 2010 [online]. IEEE, 2010, s. 160-165 [cit. 2015-04-23]. ISBN 978-1-4244-7849-1. DOI: 10.1109/ISSE.2010.5547277. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5547277>
- [10] LAMBERT, Leo P. *Soldering for electronic assemblies*. New York: Marcel Dekker, c1988. ISBN 08-247-7681-X.
- [11] NORDIC INNOVATION CENTER. *NoNE lead-free soldering guideline* [online]. 2004 [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: [http://www.nordicinnovation.org/Global/_Publications/Reports/2004/Lead-free%20soldering%20guideline%20\(NoNE\).pdf](http://www.nordicinnovation.org/Global/_Publications/Reports/2004/Lead-free%20soldering%20guideline%20(NoNE).pdf)
- [12] GATEMA. *Povrchové úpravy* [online]. © 201262015 [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: <http://pcb.gatema.cz/povrchove-upravy-0/>
- [13] FRANKO, Jakub. *Povrchové úpravy* [online]. 2010 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.lamirel.cz/povrchoveupravy.aspx>

- [14] MYERS, Craig. *PCB Surface finishes* [online]. 2013 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://pcbwhiz.com/docs/PCBFinishes.pdf>
- [15] CARANO, Michael. *Solderable Final Finishes: Urban Legends and State of the Art* [online]. 2012 [cit. 2015-01-28]. Dostupné z: http://pcb.icconnect007.com/pages/columns.cgi?clmid=48&artid=85243&_pf_=1
- [16] DE WOLF, Marianne. *Which surface finish fits your design* [online]. 2012 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.eurocircuits.com/blog/46-Which-surface-finish-fits-your-design>
- [17] FREETRONICS. *PCB Surface Finishes* [online]. © 2010-2015 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <http://www.freetronics.com.au/pages/pcb-surface-finishes#.VVmqFfntmko>
- [18] HENNINGER, Todd. *PCB Surface Finishes* [online]. 2012 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://www.smta.org/chapters/files/UMW_Viasystems_Surface_Finishes.pdf