

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tavidlové zbytky po pájení přetavením

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš KONVIČKA**
Osobní číslo: **E11B0126P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Tavidlové zbytky po pájení přetavením**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou tavidel využívaných v pájecích pastách
2. Seznamte se s problematikou čištění DPS po procesu pájení
3. Navrhněte a proveďte experiment pro měření povrchového izolačního odporu tavidlových zbytků vybraných pájecích past po pájení přetavením
4. Proveďte zhodnocení výsledků



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. R.J. Klein Wassink SOLDERING IN ELECTRONIC
2. P. Mach, V. Skočil, J. Urbánek MONTÁŽ V ELEKTRONICE
3. internetové zdroje

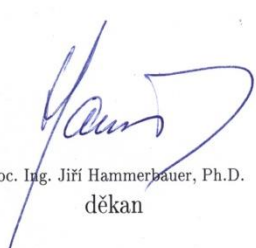
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Karel Rendl


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou tavidlových zbytků po pájení přetavením. První část je zaměřena na problematiku pájecích past. Je zde vysvětleno, z čeho se pájecí pasta skládá a jakými způsoby se dá nanášet. V druhé části jsou popsána pájecí tavidla. Třetí část se věnuje defektům, které jsou způsobeny tavidlovými zbytky po procesu pájení. V další části je popsáno několik způsobů, jak lze čistit desky plošných spojů. V praktické části je popsán experiment, který je zaměřen na měření povrchového izolačního odporu desek plošných spojů.

Klíčová slova

Tavidlo, pájecí pasta, tavidlové zbytky, deska plošných spojů, povrchový izolační odpor, nečistoty

Abstract

This bachelor thesis deals with the problem of flux residue after reflow soldering. The first part deals with solder paste. There is a description of what the solder paste is made and in what ways can be applied. The second part describes the soldering flux. The third part deals with defects that are caused by flux residues after the soldering process. The next section describes several ways how to clean the printed circuit boards. The practical part describes the experiment that aims to measure surface insulation resistance of printed circuit boards.

Key Words

Flux, solder paste, flux residues, printed circuit boards, surface insulation resistance, contaminants

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.

.....

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Rendlovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD	10
1 PÁJECÍ PASTY	11
1.1 TYPY PÁJECÍCH PAST	11
1.2 ZNAČENÍ PÁJECÍ PASTY	12
1.3 VELIKOST ZRN	13
1.4 TAVIDLO V PÁJECÍ PASTĚ	14
1.5 NANÁŠENÍ PÁJECÍ PASTY	15
1.5.1 Nanášení pájecí pasty dávkováním	15
1.5.2 Tisk přes síto	15
1.5.3 Tisk přes šablonu	15
2 PÁJECÍ TAVIDLA.....	17
2.1 TAVIDLA ROZPUSTNÁ V ROZPOUŠTĚDLE	17
2.2 PRYSKYŘIČNÁ TAVIDLA NA BÁZI KALAFUNY	17
2.2.1 Typ R.....	18
2.2.2 Typ RMA (pryskyřičné tavidlo s aktivátory)	18
2.2.3 Typ RA (pryskyřičné tavidlo s větší účinností aktivátorů).....	18
2.2.4 Typ RSA (pryskyřičné tavidlo velmi silně aktivované)	18
2.3 SYNTETICKÁ TAVIDLA	18
2.4 TAVIDLA ROZPUSTNÁ VE VODĚ.....	19
2.5 TAVIDLA BEZ ČIŠTĚNÍ.....	19
3 DEFEKTY TAVIDLOVÝCH ZBYTKŮ	20
3.1 KOROZE.....	20
3.2 ELEKTROMIGRACE.....	21
3.3 SVODOVÉ PROUDY	21
4 ČIŠTĚNÍ DPS	22
4.1 METODY ČIŠTĚNÍ	23
4.1.1 Čištění ultrazvukem.....	23
4.1.2 Čištění postřikem	23
4.1.3 Čištění probubláváním	24
4.1.4 Čištění kýváním.....	24
5 EXPERIMENT	24
5.1 NÁVRH TESTOVANÉ STRUKTURY	24
5.2 TESTOVANÁ TAVIDLA.....	25
5.3 PRŮBĚH PŘETAVENÍ VZORKŮ	26
5.4 ČIŠTĚNÍ VZORKŮ.....	28
5.5 METODA SIR	28
5.5.1 Postup měření povrchového izolačního odporu.....	28
5.6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	29
5.6.1 Grafy	29
5.6.2 Zhodnocení výsledků pro tavidlo SMF-2	34
5.6.3 Zhodnocení výsledků pro tavidlo P-30.....	34
5.6.4 Zhodnocení výsledků pro tavidlo P	34
5.6.5 Zhodnocení výsledků pro tavidlo SM-816.....	34
ZÁVĚR	36
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	37
PŘÍLOHA A: NAMĚŘENÉ HODNOTY POVRCHOVÉHO IZOLAČNÍHO ODPORU	39

Seznamy symbolů a zkratk

DPS, PCB	Deska plošných spojů - Printed Circuit Board
SMT	Technologie povrchové montáže - Surface Mount Technology
SIR	Povrchový izolační odpor - Surface Insulation Resistance
UV	Ultrafialové záření - Ultraviolet
FR4	Kompozitní materiál ze skelné tkaniny a epoxidové pryskyřice - Flame Retardant Class 4
SMD	Součástka pro povrchovou montáž - Surface Mount Device

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou tavidlových zbytků, které vzniknou po pájení přetavením. Pájení přetavením představuje jeden ze způsobů měkkého pájení. Je to jeden z nepoužívanějších způsobů pájení SMD součástek při výrobě elektrických zařízení.

První kapitola je zaměřena na pájecí pasty. Je zde popsáno, s jakými typy pájecích past se můžeme setkat, z čeho se skládají a jak se označují. Dále se tato kapitola věnuje velikostem zrn pájky. Kapitola také obsahuje způsoby nanášení pájecích past. Poté jsou zde popsány nároky na SMT šablony. Nakonec je zde porovnání dvou technologií při výrobě SMT šablon.

Druhá kapitola se zabývá pájecími tavidly. Tavidla jsou látky, které zabraňují oxidaci kovů. Jsou zde popsána tavidla, která jsou rozpustná v rozpouštědle či vodě. Dále jsou zde rozebrána pryskyřičná tavidla a jejich stupně aktivace. Kapitola obsahuje popis syntetických tavidel a nakonec jsou popsána tavidla, která nazýváme bezoplachová.

Třetí kapitola je zaměřena na defekty tavidlových zbytků, které mohou negativně ovlivnit vlastnosti elektronických sestav. Je zde popsáno, jaké nečistoty se nejčastěji vyskytují po procesu pájení. Poté jsou zde popsány negativní procesy jako koroze, elektromigrace a svodové proudy.

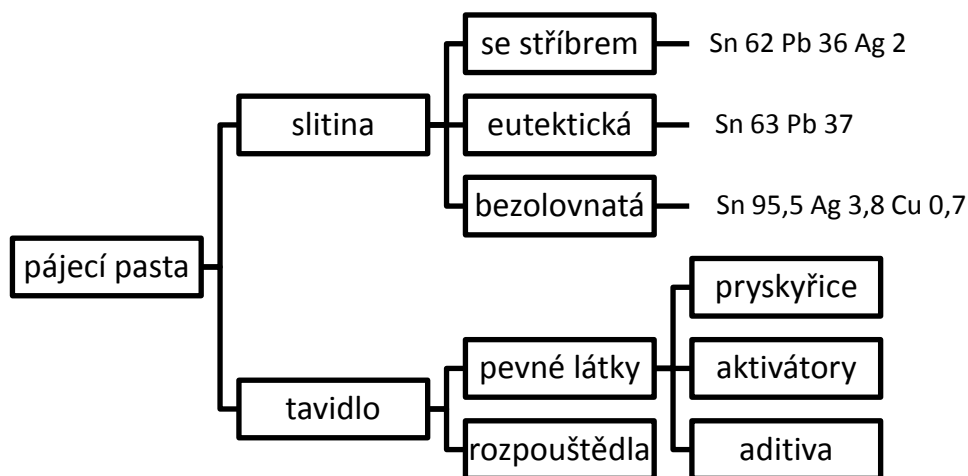
Čtvrtá kapitola je věnována čištění DPS. Jsou zde popsány moderní i starší metody čištění. Dále jsou zde popsána čistící média, která se využívají v daných metodách.

V páté kapitole je popsán experiment, který je zaměřen na měření povrchového izolačního odporu. Je zde popsáno, jakým způsobem proběhl návrh testované struktury. Dále obsahuje soupis tavidel, které byly při experimentu použity. Poté následuje samostatný průběh měření, kde můžeme nalézt informace o tom, jaké čistící a měřicí přípravky byly použity a při jakých podmínkách měření probíhalo. Nakonec jsou zde shrnuty výsledky měření pro jednotlivá tavidla.

V závěru práce pak nalezneme celkové zhodnocení rozebírané problematiky a vyhodnocení experimentální části.

1 Pájecí pasty

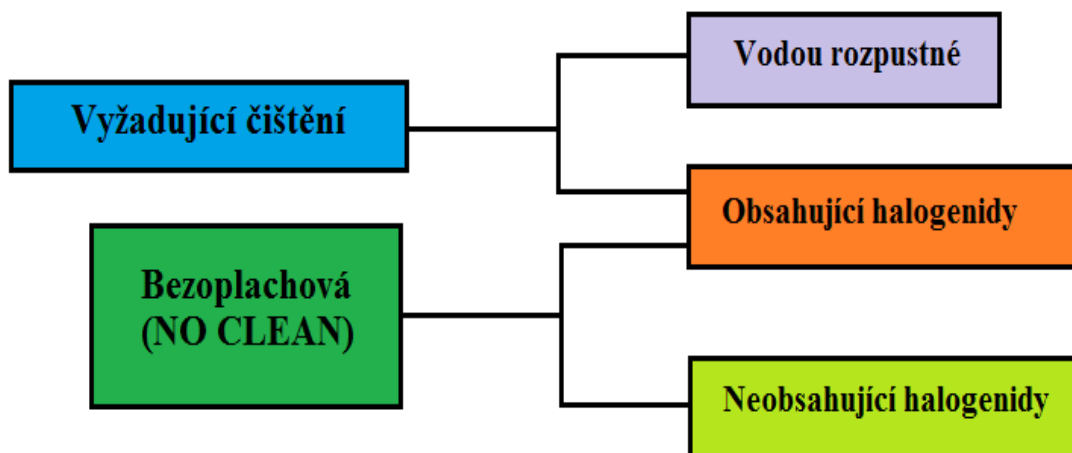
Pájecí pasty jsou složeny z kovové složky (pájecích zrn) a organické složky (tavidla), přičemž zhruba 90% pasty je tvořeno pájecími zrny a 10% tvoří tavidlo. Složení pasty je zobrazeno na *Obrázek 1.1*. [1]



Obrázek 1.1 Složení pájecí pasty [1]

1.1 Typy pájecích past

V současné době je dostupná široká škála pájecích past. Obecně jsou tyto pasty rozděleny podle použitého tavidla, které je v pájecí pastě obsaženo. [2]



Obrázek 1.2 Rozdělení pasty podle typu použitého tavidla [2]

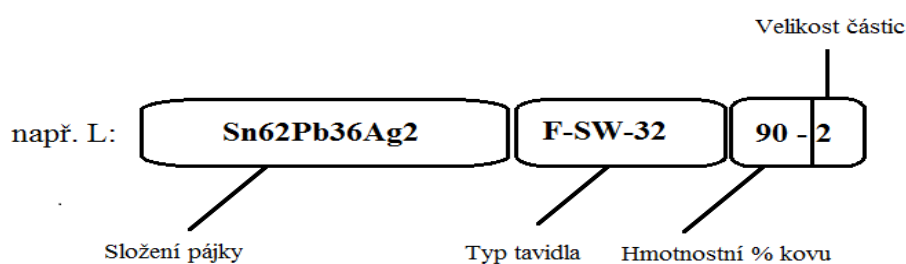
Pájecí pasty, které jsou vodou rozpustné se musí čistit čistou de-ionizovanou vodou. U bezoplachové pájecí pasty, s halogenidy nebo bez halogenidů, se na čištění používají mycí prostředky, protože v pastě je obsažena pryskyřice. Po čištění zůstávají na desce tixotropní materiály. [2]

Zmenšující se rozměry DPS a zvětšující se hustota součástek donutila průmysl uplatnit bezoplachový proces. Jak je vidět z *Obrázek 1.2*, tak pájecí pasta nemusí, ale i může obsahovat halogenidy. [2]

Pájecí pasta, která obsahuje halogenidy vykazuje horší spolehlivost a izolační odpor oproti pájecí pastě bez halogenidů. Výhodou je však její dobrá zpracovatelnost a pájitelnost. To bývá přisuzováno její lepší schopnosti aktivace. Většina pájecích past bez halogenidů využívá jako aktivátor organické kyseliny. Existuje i velké množství organických kyselin, které mají nižší molekulární hmotnost a vykazují větší aktivační schopnosti. Je tu však nevýhoda, protože organické kyseliny s vysokou aktivační schopností absorbují vlhkost. Díky tomu může dojít k ionizaci zbytků tavidla s vlhkostí, což by velmi zhoršilo elektrické vlastnosti. [2]

U pájecích past využívá aktivační systém kombinaci organických kyselin s nižší absorpcí vlhkosti a speciálně vyvinutých neionogenních aktivátorů. Tyto speciální aktivátory se neionizují ani nerozkládají a díky své dobré stabilitě vykazují stejné aktivační schopnosti jako halogenidy. Teplota aktivace neionizujících aktivátorů je poměrně vysoká, a proto musí být pečlivě vybrány organické kyseliny, aby se při kombinaci těchto dvou složek zvýšila doba aktivace přetavení, a tím se zlepšil i pájitelnost a zároveň je zaručena vynikající spolehlivost. [2]

1.2 Značení pájecí pasty

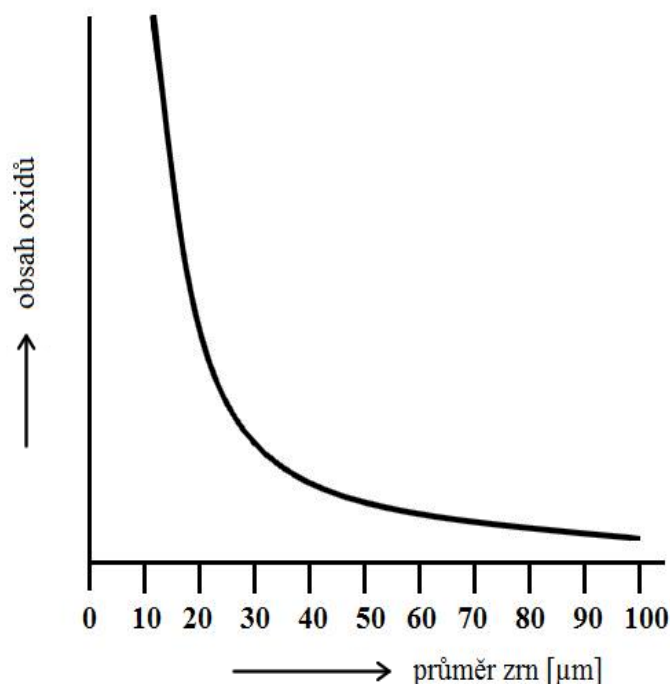


Obrázek 1.3: Značení pájecích past [3]

Některé firmy uvádějí specifikaci se složením pájecí pasty přímo na obalu. Označení dle normy DIN 32513 je zobrazeno na *Obrázek 1.3*. [3]

1.3 Velikost zrn

V dnešní době jsou kladeny velké nároky na elektronické sestavy. V hromadné výrobě jsou běžné vysoké hustoty osazovaných součástek, menší součástky a jemné rastry. Proto musí pájecí pasty vykazovat rovnoměrné a jemné zrnění s velmi malým rozptylem zrn. Při výrobě vlastních zrn se využívá technologie odstředování v ochranném plynu, čímž lze docílit nejmenší velikosti zrn, kontroly stupně oxidace na povrchu pasty a nízké oxidace na povrchu zrn. [1]



Obrázek 1.4 Podíl oxidů v závislosti na velikosti zrn [1]

Z *Obrázek 1.4* je vidět, že při zvyšujícím se množství jemnějšího zrnění se zvyšuje podíl oxidů. Proto je důležité udržovat co nejnižší podíl superjemného zrnění. [1]

Podle mezinárodně uznávaných norem jsou zrna rozdělena podle velikosti a tolerance, což je uvedeno v tabulce č.1. Rozdělení zrn je velmi důležité vzhledem k reologii, která nám určuje, jak se pasta nechá nanášet, jak se odděluje z prostoru otvorů od šablony a také stupeň

oxidace. V *Tabulka 1.1* je uvedeno, že mezinárodní normy (ISO, DIN, JIS aj.) dovolují podíl zrn o průměru menším než 20 μm až 10%. [1]

Tabulka 1-1: Rozdělení velikosti zrn a přípustný podíl prachu podle mezinárodních norem[1]

Vzdálenost vývodů	Rozdělení velikosti zrn			
< 0,5 mm	1 % < 20 μm ... 50 μm < 3%			
< 0,4 mm	1 % < 20 μm ... 40 μm < 1%			
Průměr zrna	Přípustný podíl prachu podle mezinárodních norem			
	JIS Z 3284	IPC SP 819	ISO	DIN
< 22 μm	10 %	-	-	-
<20 μm	-	10 %	10 %	10 %

1.4 Tavidlo v pájecí pastě

Tavidlo se využívá v pájecí pastě k odstranění oxidů při procesu pájení. Odstraňuje oxidy na substrátech, pájených ploškách, ploše pájky a přívodech součástek, aby došlo k vytvoření intermetalické vazby mezi pájkou a substrátem. Pokud se pájené místo znovu zahřeje může dojít opět k oxidaci. Tavidlo je v pájecí pastě velice důležité, protože z velké části nám podává informaci o tom, jaká bude pájitelnost. Také některé vlastnosti pasty závisí na složení tavidla např. spolehlivost a podstatné chemické a elektrické vlastnosti. Jak můžeme vidět z *Obrázek1.1* tak se tavidlo skládá ze čtyř složek: pryskyřice, aktivátoru, aditiv a rozpouštědel. Organické složky tavidla mají zajistit zpracovatelnost pájecího prášku pro tisk šablonou a sítotisk, ale i aktivovat plochy, které mají být pájeny. Pryskyřice určuje konzistenci pájecí pasty a udržuje pájecí kuličky pohromadě v suspenzi a zabraňuje jejich vysrážení. Pro pryskyřice je typická vlastnost lepkavost tj. schopnost pájecí pasty udržet při povrchové montáži komponenty po umístění na jejich pozici. Obecně se používají přírodní pryskyřice a nebo jsou tyto pryskyřice různě upravené dle požadavků. Jednou z přírodních pryskyřic je kalafuna. Kalafuna je jemně kyselá míza, která se vyskytuje v borovicích. Tato míza může obsahovat 80 - 90 % kyseliny adipové a 10 - 15 % primární kyseliny. Rozpouštědlo nám z velké části určuje viskozitu pájecí pasty a dobu zpracování před procesem osazování. Složení tavidla a jeho procentuální podíl v pastě má velký vliv na proces tisku a stabilitu nánosu pájky. Typ pájecí pasty je určován aktivátory. Aktivátor představuje klíč k dosažení dobrého elektrického kontaktu. Zůstává relativně nečinný při nižších teplotách, ale při vstupu do pece dosahuje vysoké aktivity a začíná působit jako kyselina

požirající kovové povrchy. Tímto způsobem se efektivně z kovu odstraňují oxidy, oleje a další znečišťující látky. [1]

1.5 Nanášení pájecí pasty

Pájecí pasta může být nanášena dávkováním, tiskem přes síto nebo tiskem přes šablonu. [1]

1.5.1 Nanášení pájecí pasty dávkováním

Největší výhodou této metody je, že pájecí pastu nanášíme jen na místa bodů, kde přesně potřebujeme. Díky tomu se využívá ruční dávkování při menších opravách, kdy rychle můžeme nanášet pájecí pastu na požadovaná místa. Podle množství pájecí pasty se určuje průměr jehly. Využívá se také metoda strojního dávkování a to v případech, kdy se vyrábí velké množství DPS a nevyplatí se vyrábět drahé šablony. [1,5]

1.5.2 Tisk přes síto

Síto je síťka složená z vláken (nylon, polyester, popřípadě kov). Síto je opatřeno fotocitlivým materiálem. Hustota ok se pohybuje v rozmezí 24 - 78 ok na 1 cm délky. Oko síťky by mělo být 2,5 až 4 krát větší, než jsou největší částice pájky. Běžné velikosti částic pájky bývají 40 - 70 μ m, a proto se často používá velikost oka síťky 200 μ m. V místech, kde má být nanášena pájecí pasta působí UV světlo. Ozářený materiál je pak chemickým procesem odstraněn a neosvětlená vrstva je vytvrzena. Poté zůstanou v otvorech jen jednotlivá vlákna síťky. Síťka se umísťuje nad desku plošných spojů ve výšce 0,8 - 1mm. [1,4,5]

Když začneme pohybovat stěrkou a protlačovat pájecí pastu, dojde k prohýbání síta. Pokud se stěrka vzdaluje od potištěného místa, dochází k odtrhu síta. Na DPS zůstávají plošky potištěné protlačenou pájecí pastou. Tloušťka nanášené vrstvy pájecí pasty je dána tloušťkou síta.

1.5.3 Tisk přes šablonu

Zde dochází k protlačování pájecí pasty jedním průchodem stěrky, která působí na šablonu, jež se poté natiskne na substrát. Pasta je protlačována skrze otvory v šabloně, která je připevněna k rámu. V porovnání s předchozí metodou se používá místo síta kovová

šablona, která je z oceli, mosazi, niklové mosazi či měděného bronzu. U této šablony nedochází k prohýbání a tudíž je celá natisknuta na desku plošného spoje. Těrka je zhotovena buď z tvrdé pryže nebo kovu, protože pokud by byl použit měkký materiál mohlo by docházet k ohýbání těrky, zejména v ostrých rozích.[1,5]

Musíme také dbát na výběr použité pasty s přihlédnutím na obsah oxidů, protože čím větší povrch má být pokryt, tím více oxidů vznikne. Do otvoru šablony pro jemné rozteče je nezbytné, aby alespoň polovina pájecích kuliček zapadla přesně do otvoru šablony. Výhoda oproti metodě sítotisku je také v tom, že zvládne pomocí šablony pořídit až desítky tisíc potisků, pokud je se šablonou šetrně zacházeno. Kovové šablony se mohou vyrábět pomocí chemického leptání, řezání laserem nebo galvanickou cestou. U chemického leptání je typický představitel materiál o tloušťce 0,4 mm, ze kterého se vyrábí většina šablon. Z důvodu snadného leptání se využívají slitiny z mědi. Pro menší tloušťky se používá niklová mosaz a nerezová ocel. Technologie chemického leptání byla dlouhou dobu osvědčená, pro zákazníky docela přesná a pro výrobce ekonomicky únosná. Avšak použitelnost této metody ve výrobě značně klesá kvůli vzrůstajícímu počtu osazovaných součástek. Z tohoto důvodu se nepodařilo dodržet toleranci vyleptaných otvorů či tvary leptané hrany a tím docházelo k nerovnoměrnému nanášení pasty, a proto se ve větších firmách přechází na šablony řezané laserem.[1,5]

Požadavky na SMT šablonu: [6]

- 1) rovnoměrné nanášení vrstvy pasty
- 2) přesnost pozice tisku
- 3) přesnost tištěného tvaru
- 4) jemnost dosažitelného rozlišení otvorů
- 5) kvalita oddělení šablony od plošky
- 6) odolnost šablony při mnohonásobném tisku
- 7) možnost přesné volby tloušťky materiálu šablony
- 8) snadná čitelnost

V *tabulce 1.2.* můžeme vidět uvedené požadavky na šablony v porovnání dvou technologií. [6]

Tabulka 1-II Porovnání dvou technologií při výrobě šablony [6]

Technologie výroby šablony	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
Leptání	++	++	+	-	--	-	-	+
Řezání laserem	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++

Ze všech uvedených parametrů je patrné, že laserem řezané šablony ve všech směrech převyšují šablony leptané. Zařízení pro řezání šablon byla dříve dovážena ze zahraničí. Jejich cena převyšovala několikanásobně cenu leptaných. Z tohoto ekonomického hlediska se využívala technologie leptání. V současné době existuje již několik tuzemských výrobců, kteří vyrábějí zařízení pro řezání šablon. [6]

2 Pájecí tavidla

Hlavním úkolem tavidla je odstranit oxidy kovů z míst, která se spojují. Tavidlo je při pokojové teplotě téměř netečné, ale při zvýšených teplotách je silně redukční a zabraňuje tak tvorbě oxidů. Podle použitého rozpouštědla můžeme tavidla rozdělit na dvě skupiny: [7]

- rozpustná rozpouštědlem,

- rozpustná vodou.

2.1 Tavidla rozpustná v rozpouštědle

Základem těchto tavidel je borovicová pryskyřice, která je doplněna o další prostředky, aby se dosáhlo zvýšení aktivity tavidla. Do této skupiny patří i syntetická tavidla, která vznikají derivací organických sloučenin. [7]

2.2 Pryskyřičná tavidla na bázi kalafuny

"Typy tavidel na pryskyřičné bázi jsou definovány ve Federální normě QQ-S-571 a Vojenské normě - Military Specification MIL-F-14256." [6] Tato tavidla rozdělujeme podle úrovně aktivity. [7]

2.2.1 Typ R

Tento typ tavidla vykazuje nejnižší aktivitu. Je složeno z kalafuny, která je rozpuštěná v lihovém ředidle. Používá se na vysoce pájitelné povrchy, protože má velmi slabou čistící schopnost. Může být využito jako čistič zlatých povrchů. Výhoda tohoto tavidla spočívá v tom, že se po procesu pájení nemusí odstraňovat. [7]

2.2.2 Typ RMA (pryskyřičné tavidlo s aktivátory)

Pro zvýšení aktivity jsou do tohoto typu tavidla přidávány organické směsi. Tavidlo RMA je používáno se snadno pájitelnými materiály jako je měď, či cíno-olověné pájky. Odstraňování zbytků je volitelné, protože vzorek je charakterizován jako netečný. Čím déle je aktivátor vázaný v pryskyřici, tím se zvyšuje odolnost proti korozi. [7]

2.2.3 Typ RA (pryskyřičné tavidlo s větší účinností aktivátorů)

Jsou zde použity agresivnější organické příměsi než u tavidel RMA. Tavidla RA jsou urychleně smáčeny a tím zabraňují vzniku defektů v pájecím procesu. Jelikož tavidla RA vykazují větší aktivitu, je třeba tavidlo po pájecím procesu zcela odstranit. Pokud by nebylo tavidlo zcela odstraněno, zvětšila by se tím šance výskytu koroze. [7]

2.2.4 Typ RSA (pryskyřičné tavidlo velmi silně aktivované)

Tavidla RSA nejsou součástí vojenské normy. Zbytky musí být zcela odstraněny jako u tavidel RA. Tavidla RA, RMA a R jsou rozdělena podle americké vojenské normy (MIL) a jsou značena podle stupně aktivování tavidla. Bohužel nám však nepodávají žádné informace o nutnosti čištění zbytků po procesu pájení. Proto se využívají normy DIN, které poskytují bližší informace o jednotlivých tavidlech. Normy DIN jsou přesně definovány a uživatel pak ví, jak má s daným tavidlem pracovat. V současné době většina výrobců přechází na značení podle evropské normy EN 9454-1, která popisuje stav současných tavidel. Evropská norma postupně vytlačuje předchozí systémy značení. [7]

2.3 Syntetická tavidla

Tato tavidla jsou založena na mono- a di-isooktylu fosfátových směsí, které jsou zkombinovány s dalšími příměsemi, aby se dosáhlo co nejlepší aktivity tavidla. Aktivita

syntetického tavidla je téměř stejná jako tavidla z organických kyselin. Rozdíl je však v tom, že u těchto tavidel je nižší úroveň iontového znečištění. Složení těchto tavidel musí být velmi pečlivě monitorováno. [7]

2.4 Tavidla rozpustná ve vodě

Tato tavidla jsou organické kyseliny, které mají vyšší aktivitu než pryskyřičná tavidla. Byla používána nejčastěji v procesech pájení vlnou, kde docházelo k pájení součástek s různou pájitelností. Odstranění tavidla se provádí pomocí čistícího procesu, s využitím vody jako čistícího média, který by měl následovat co nejdříve po procesu pájení. Jelikož je jako čistící prostředek použita jen voda popř. demineralizovaná voda, jedná se o velice levný proces. [7]

2.5 Tavidla bez čištění

K procesu čištění jsou zapotřebí samostatná čistící zařízení a různá rozpouštědla, která jsou stále dražší. Proto se snažíme odstranit proces čištění, abychom snížili náklady a zvýšili spolehlivost. Je nutné však kontrolovat chování zbytků po procesu pájení. Pokud se tato tavidla používají v klimaticky náročných podmínkách, nevykazují zbytky vždy dostatečné izolační vlastnosti a tak musí být v některých případech čištěny. [7]

Podmínky pro bezoplachové tavidlo: [7]

- nesmí zanechávat zbytky, které mohou způsobit korozi,
- musí zaručit dokonalou pájitelnost,
- musí umožnit přístup pro měřicí jehly, které se přikládají na testovací plošky,
- nesmí zanechávat lepivé zbytky,
- musí vyhovovat předpisům k ochraně zdraví a bezpečnosti.

3 Defekty tavidlových zbytků

Tavidlové zbytky jsou jedněmi z nejčastějších, škodlivých nečistot, které postihují tištěné sestavy desek plošných spojů. Při výrobních procesech může dojít k nedostatečnému odstranění těchto zbytků, které mohou negativně ovlivnit vlastnosti pájeného spoje. [8]

Mezi nejčastější nečistoty patří chloridy a slabé organické kyseliny. Slabé organické kyseliny zahrnují takové látky, jako jsou kyseliny adipové a kyseliny jantarové. Tavidlové zbytky jsou pak výsledky tavidlových aktivátorů a jsou obvykle neškodné, pokud dojde k jejich následnému odstranění. Důležité je také rozložení tavidla v prevenci ponechání škodlivých tavidlových zbytků na desce. Naneseme-li příliš mnoho tavidla, teplotní energie vzniklá během přehřevu se použije spíše k odstranění ředidla než k utváření tavidlových zbytků. [8]

Pokud jsou tavidlové zbytky ponechány na deskách PCB mají potenciál reagovat s vlhkostí a použitým napětím, a následně dochází k elektromigraci a ke vzniku svodových proudů. Při nanášení je proto důležité kontrolovat rozložení tavidla. [8]

3.1 Koroze

Vlivem prostředí a dalších činitelů dochází u kovových materiálů ke korozi. Koroze je samovolné, postupné rozrušení kovů či nekovových organických i anorganických materiálů vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Přítomnost agresivních kyselin a vliv oxidace v plynném či kapalném prostředí podporuje korozi. Koroze vyvolá vznik iontů, které zapříčiní jev elektromigrace. Koroze vniká u tavidlových zbytků, které nejsou po procesu pájení dostatečně odstraněny. Pokud jsou tyto zbytky usazeny na vodivé cestě spoje, je potřeba obstarat kvalitní čisticí přípravky, které tyto usazeniny odstraní. Často se v praxi můžeme setkat s rovnoměrnou korozí, která se projevuje je tak, že je napaden celý povrch rovnoměrně a je ve styku s korozním prostředím. Někdy může nastat



3.1 Koroze způsobená tavidlovými zbytky [11]

i nerovnoměrná koroze, u které jsou zasaženy pouze určité části povrchu. Mezi nerovnoměrné koroze patří galvanická, štěrbinová, bodová a laminární. [9,10]

3.2 Elektromigrace

Při elektromigraci dochází k migraci hmoty s tavidlovými zbytky vlivem přiloženého elektrického pole. Je to jev, který roste s teplotou. Vlivem elektromigrace se zhoršuje izolační stav desek a vyskytují se zkraty mezi vodiči i mezi vývody součástek. Díky elektrickému poli jsou vzniklé ionty přenášeny mezi elektrodami a to tak, že kladné ionty jsou přitahovány zápornou elektrodou a záporné ionty jsou přitahovány kladnou elektrodou. Tento jev způsobuje vedení elektrického proudu elektrolytem, který můžeme vyjádřit tímto vztahem: [12,13]

$$J = \frac{(U - E_{j,A} + E_{j,K})}{L \times \rho} \quad (1.1)$$

J - proudová hustota [A/m²],

U - přiložené napětí [V],

E_{j,A} - přepětí anody [V],

E_{j,K} - přepětí katody [V],

L - vzdálenost elektrod [m],

*ρ - měrný odpor elektrolytu [Ω*m].*

3.3 Svodové proudy

Svodové proudy vzniknou v případě, nastanou-li tyto stavy: [13]

- dojde k rozdílu napětí,

- v místě je povrchově pohlcena tekutina ve formě kapek o velikosti μm ,
- vodivý zbytek se stane nositelem proudu podél původní cesty.

U vodivých zbytků může dojít k tomu, že vlhkost která se na nich zachytí, může způsobit vytvoření vodivé cesty, která může přemostit obvod. Tyto chyby se liší od chyb elektromigračních, a to tím že nedochází k žádné migraci kovu a nedochází k tvrdému zkratu. Vlhkost je pohlcována povrchovými zbytky a vytváří vodivý pásek, který ovšem neobsahuje korozivní zbytky, které by mohly způsobit elektromigraci. [13]

4 Čistění DPS

Zbytky nečistot, které se usadí po procesu osazování a pájením na DPS, mohou výrazně ovlivnit spolehlivost a kvalitu dané desky. Proto jsou zde určité požadavky a důvody proč DPS čistíme: [14]

- splnění odpovídající hodnoty izolačního odporu,
- zabránění vlivu zbytků tavidla v dalších časových obdobích,
- neomezit přílnavé vlastnosti pro ochranné vrstvy,
- zlepšit vzhled osazené desky.

Zbytkové nečistoty můžeme rozdělit do dvou skupin. Na substrátech se mohou objevit chemické nebo kovové nečistoty. Chemické nečistoty jsou obvykle iontového původu a proto při vyšších vlhkostech může docházet ke snížení izolačního odporu. Pak jsou zde kovové nečistoty, které jsou způsobeny rozpustností kovů v roztavené pájce. Tyto nečistoty se mohou objevit u drahých kovů jako je např. zlato a stříbro, protože se v pájce velmi rychle rozpouští. To pak může způsobit zničení spoje. [14]

Pro odstranění tavidlových zbytků můžeme použít kartáče. Kartáčováním zabezpečíme rovnoměrný povrch Cu, zbavený nečistot a oxidace. Tato metoda se hodí pro DPS, které mají malou hustotu osazených součástek a velké průměry spojů. Jako čisticí prostředek mohou být

použita rozpouštědla. Zde mluvíme o tzv. chemickém čištění. Důležité je volit vhodná rozpouštědla, aby nedošlo k poškození desky. Nejvíce se využívá k odstranění tavidlových zbytků vodní čištění. Čištění může probíhat deionizovanou vodou, vodními roztoky, saponáty a jinými příměsmi. [14]

4.1 Metody čištění

Proces čištění lze rozdělit na 3 části. V první fázi dochází k mytí, které je nejdůležitější ze všech částí, protože při mytí dochází ke kontaktu objektu s čistícím přípravkem a vlivem rozpouštění se uvolňují zbytky tavidla, past či lepidel. Poté následuje oplach, který odstraní čistící roztok z povrchu desky. Jako oplachovací medium můžeme použít deionizovanou vodu. V poslední fázi dochází k sušení, kde se teplem odpaří látky vzniklé po oplachu. [15]

4.1.1 Čištění ultrazvukem

Ultrazvukové čištění je moderní a velice efektivní způsob odstraňování organických či anorganických nečistot. Při provozu ultrazvukového zdroje dochází k jevu, který nazýváme kavitace. Při kavitaci se v čistícím médiu vytváří miliony mikroskopických bublinek, které vlivem tlaku implodují a uvolněná energie odstraňuje nečistoty z povrchu čištěné desky. Výhodou tohoto typu čištění je skutečnost, že nedochází k mechanickému poškození čištěných předmětů. Ultrazvuk je akustické vlnění o frekvenci vyšší než 20 kHz. Vysokofrekvenční energie se transformuje na mechanické vlnění pomocí piezoelektrických měničů, které jsou umístěny na dně ultrazvukové vany. Důležitým parametrem je samotná teplota lázně. Pohybuje se v rozmezí od 50 - 60 °C. Ultrazvukové čištění za tepla zkracuje dobu čištění. [15]

4.1.2 Čištění postřikem

Uvnitř mycího zařízení dochází k tryskání čistící emulze pod tlakem na mytý předmět. Výkonová čerpadla přepraví emulzi do trysek, které jsou připevněna na pohyblivá ramena. Rozprašovaná kapalina odstraňuje nežádoucí nečistoty. Tlak v tryskách se obvykle pohybuje 3-4 bary/mycí okruh. Hodnota tlaku je podělena podle počtu použitých trysek. Mycí trysky jsou natočeny pod různými úhly, aby co nejlépe strhávaly nečistoty. Teplota emulze je srovnatelná s metodou čištění ultrazvukem. Čištění probíhá ve vzduchu nebo pod hladinou. V praxi se využívá čištění ve vzduchu, protože má výrazně větší čistící účinek. Nevýhodou

této metody je nedokonalá čistící schopnost v případech, kdy DPS obsahuje velké množství součástek různých tvarů. Vstříkovaná kapalina se pak nemusí dostat na všechna potřebná místa. Proto je třeba brát na tuto nedokonalost ohled, nebo zvolit metodu ultrazvukem, kde tento problém odpadá. [15]

4.1.3 Čištění probubláváním

Základem této technologie čištění je vana, která je napuštěna mycím roztokem. Vzduch je vháněn zespolu vzduchovými tryskami. Bubliny pak směrem k hladině vyplavují rozpuštěné nečistoty. Proces trvá poměrně dlouhou dobu a jeho účinnost je ve srovnání s ultrazvukem nebo postřikem velmi malá, a proto se tato metoda používá jen výjimečně. [15]

4.1.4 Čištění kýváním

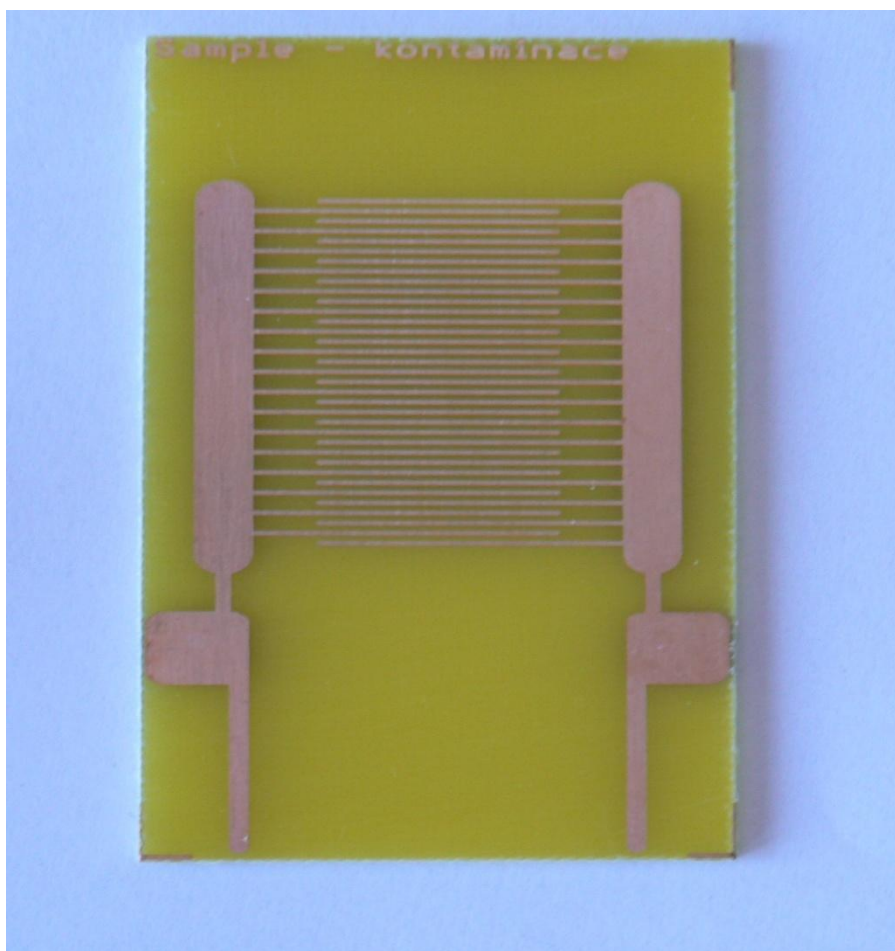
Základem je pohyblivý rám, na kterém je pevně přichycena čistěná deska. Deska je zcela ponořena v mycím roztoku. Díky vertikálnímu pohybu rámu dojde na povrchu desky k proudění kapaliny. Tato technika čištění se nepoužívá, využívá se však její kombinace s ultrazvukem, kde po čištění pomocí ultrazvuku odplavuje uvolněné nečistoty a zvyšuje tím kvalitu čistícího procesu. [15]

5 Experiment

Při tomto experimentu byl testován povrchový izolační odpor mezi vodivými trasami zkoumané struktury metodou SIR. Cílem tohoto experimentu bylo sledování vlivů čištění tavidlových zbytků na izolační odpor. U všech vzorků byla pozorována změna izolačního odporu vlivem klimatického namáhání.

5.1 Návrh testované struktury

Struktura byla navržena v programu EAGLE. Byla navržena tak, aby co nejlépe umožnila sledovat vlivy znečištění na izolační odpor vodivých tras. Substrát byl tvořen organickým materiálem FR4. Filmová předloha byla vytištěna na průhlednou fólii. Poté došlo k osvětlení struktury na substrát opatřený fotocitlivou vrstvou. Dále byla deska zalita vývojkou, aby došlo k odplavení osvětlených míst a nakonec byla deska vyleptána. Výsledná struktura desky byla zobrazena na *Obrázek 3.1*. Desky byly těsně před použitím očištěny pomocí isopropylalkoholu, abychom odstranili povrchové nečistoty.



Obrázek 5.1 Testovací vzorek

5.2 Testovaná tavidla

Pro náš experiment byla zkoumána 4 tavidla. Byla nanesena na celém povrchu vodivé struktury pomocí šablony. V *Tabulka 5-I*, *Tabulka 5-II*, *Tabulka 5-III* a *Tabulka 5-IV* jsou uvedeny doporučené profily použitých tavidel pro proces přetavení.

Tabulka 5-I Tavidlo PF606-P30

Tavidlo: PF606-P30	
rychlosti předehřevu	1.0 - 2.0 °C/sec
předehřev	155 - 185 °C
doba tečení pájky nad 220 °C	30 - 100 sec
náběh rychlosti během přetavení	1.0 - 2.0 °C/sec
vrcholová teplota	230 - 250 °C
rychlost ochlazení	1.0 - 6.0 °C

Tabulka 5-II Tavidlo PF607-P

Tavidlo: PF607-P	
rychlosti předehřevu	1.0 - 3.0 °C/sec
předehřev	155 - 185 °C
doba tečení pájky nad 220 °C	30 - 100 sec
náběh rychlosti během přetavení	1.2 - 2.3 °C/sec
vrcholová teplota	230 - 250 °C
rychlost ochlazení	1.0 - 6.0 °C

Tabulka 5-III Tavidlo SMF-2

Tavidlo: SMF-2	
rychlosti předehřevu	1.0 - 3.0 °C/sec
předehřev	140 - 170 °C
doba tečení pájky nad 220 °C	20 - 60 sec
vrcholová teplota	230 - 250 °C

Tabulka 5-IV Tavidlo SM-816

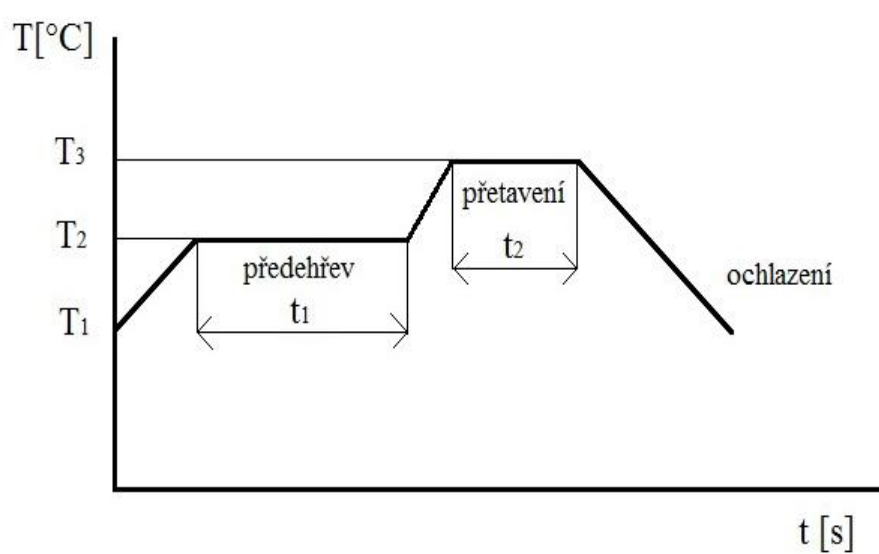
Tavidlo: SM - 816	
předehřev	80 - 105 °C
vrcholová teplota	260 - 275 °C
rychlost dopravníku	0.8 - 1.7 m/min
úhel dopravníku	4° - 8°

5.3 Průběh přetavení vzorků

Byla použita přetavovací pec HR-21, která je zobrazena na *Obrázek 3.2*. Deska byla v peci předehřívána na 40 sekund při teplotě 150 °C. Samotné přetavení bylo provedeno pro dvě teploty. První část vzorků byla přetavena při teplotě 200 °C a druhá při 240 °C. První teplotní profil byl použit pro olovnatou technologii a druhý pro bezolvnatou technologii, aby bylo možné porovnat pro jakou technologii se více hodí jaké tavidlo. Samotné přetavení bylo prováděno po dobu deseti sekund. Celý teplotní profil přetavení byl znázorněn na *Obrázek 5.3*.



Obrázek 5.2 Přetavovací pec HR-21



Obrázek 5.3 Teplotní profil

5.4 Čištění vzorků

Vzorky byly po procesu přetavení podrobeny čištění v ultrazvukové myčce, kde byly čištěny po dobu deseti minut. Byly použity 2 čisticí prostředky a poté jejich kombinace, aby jsme určily jaký přípravek bude působit nejlépe na povrchový izolační odpor. Vzorky byly nejprve čištěny 100% isopropylalkoholem. Poté došlo k oplachu demineralizovanou vodou a nakonec bylo provedeno měření vzorků po oplachu, kde bylo použito 50% isopropylalkoholu a 50% demineralizované vody.

5.5 Metoda SIR

Povrchový izolační odpor udává izolační odolnost povrchu DPS. Izolační odpor je z hlediska kvality důležitou vlastností. Defekty tavidlových zbytků způsobují změny izolačního odporu. Nejvíce jsou znečišťovány drsné povrchy, což má za následek snižování izolačního odporu. [16]

Cílem metody je odhalit vliv nebezpečných elektrochemických mechanismů, které jsou způsobeny vlhkostí či korozivitou kovu. Testováním metodou SIR, která je nedestruktivní, můžeme získat informace, které nám napomáhají při vývoji materiálů a optimalizaci výrobních procesů, aby bylo dosaženo co největší spolehlivosti. [16]

5.5.1 Postup měření povrchového izolačního odporu

Přetavené vzorky byly umístěny do komory na 72 hodin. Uvnitř komory byla vlhkost 85% a teplota 40°C. Vzorky byly v komoře napájené zatěžovacím napětím 50V. Měření probíhalo 2x denně, vždy po šesti hodinách. Byly měřeny 3 sady vzorků podle způsobu čištění.

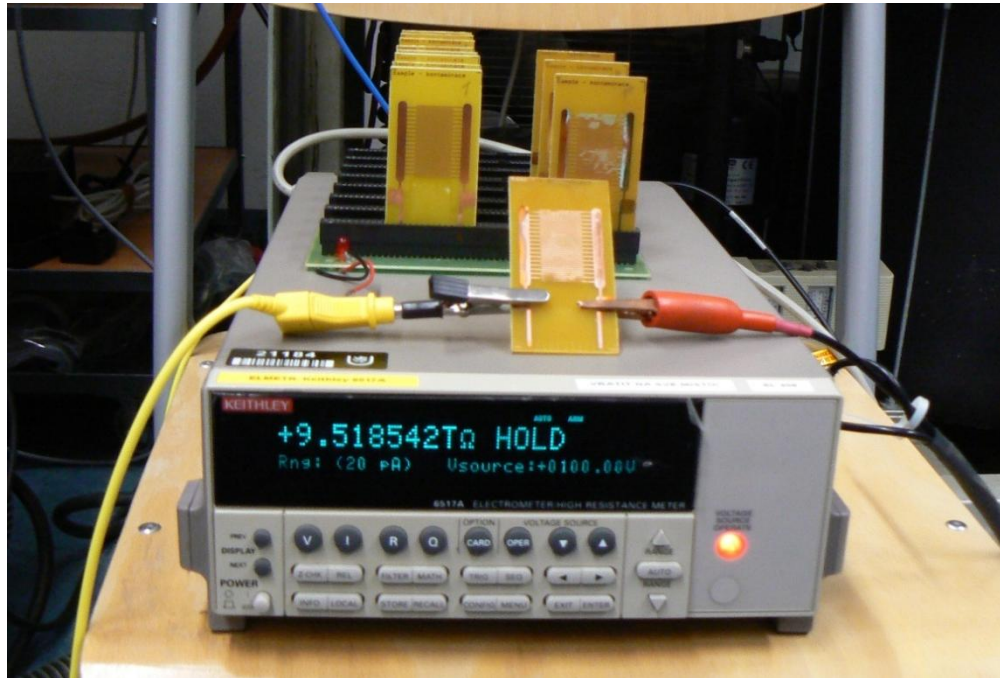
K měření byl použit elektrometr KEITHLEY 6517A. Odolnost tohoto elektrometru nabízí přesnost a citlivost, která je nesrovnatelná s jinými elektrometry tohoto typu. Model 6517A se pyšní širokými měřicími rozsahy.

- měření proudu od 1 pA do 200 mA

- měření napětí: od 10 μ V do 200 V

- měření odporu: od 50Ω do $10^{16} \Omega$

Měření povrchového izolačního odporu bylo provedeno při napětí 100 V. Museli jsme nějakou dobu počkat, než se hodnota odporu ustálila. Na *Obrázek 3.5* je vidět, jak měření probíhalo.



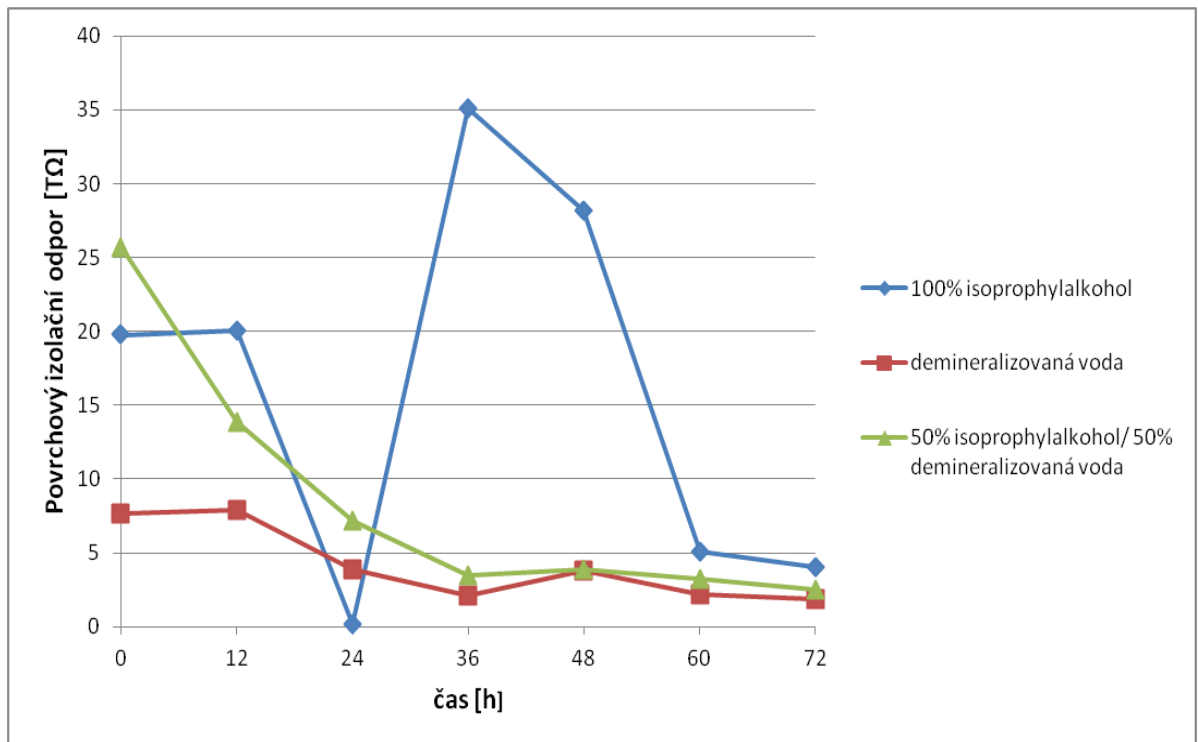
Obrázek 5.4 Měřící pracoviště

5.6 Výsledky měření

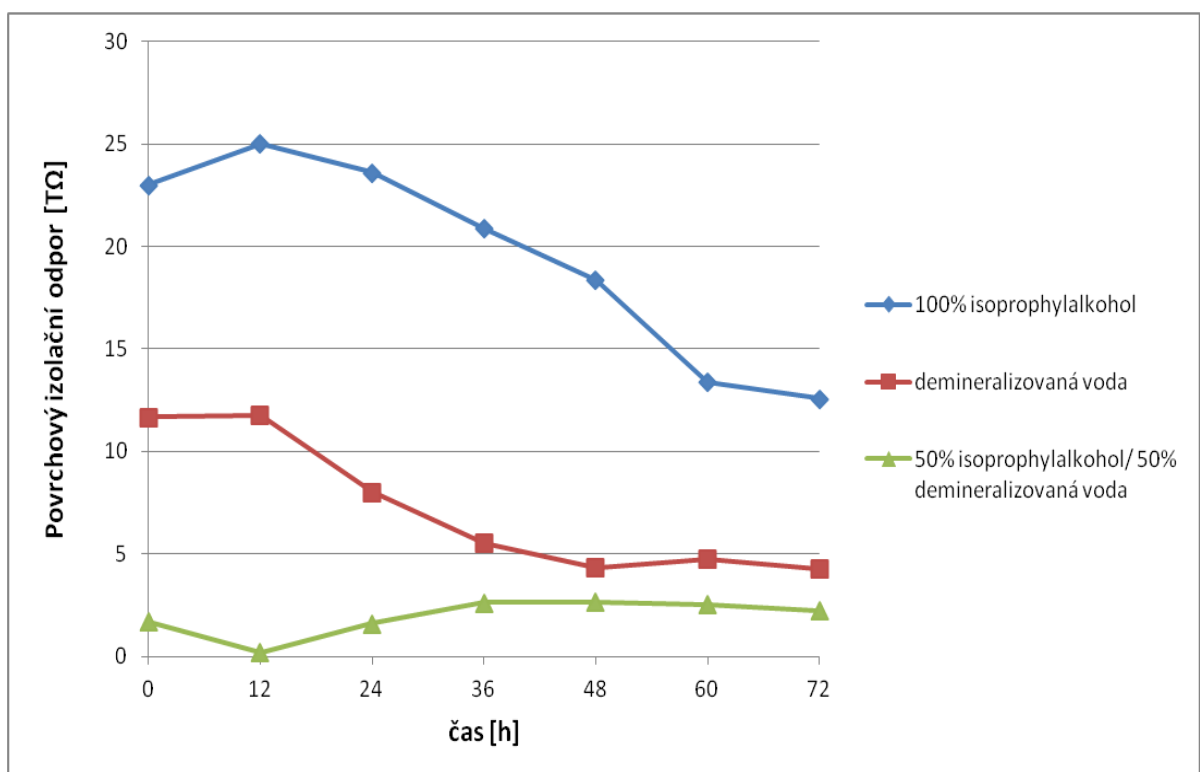
Tabulky naměřených hodnot byly uvedeny v příloze A.

5.6.1 Grafy

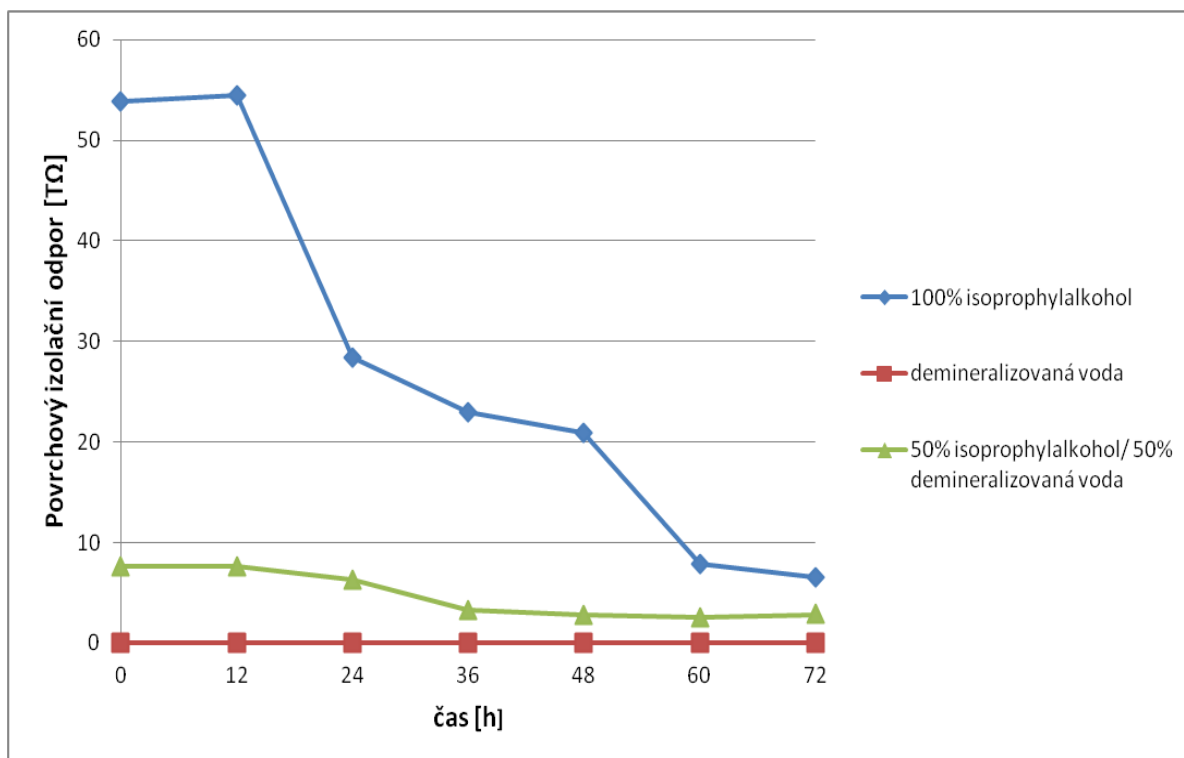
V následujících grafech byly porovnávány odlišné metody čištění na dané tavidlo. Na ose X byla zobrazena časová osa a na ose Y byly vyneseny naměřené hodnoty povrchového izolačního odporu. Grafy byly vytvořeny pro oba teplotní profily.



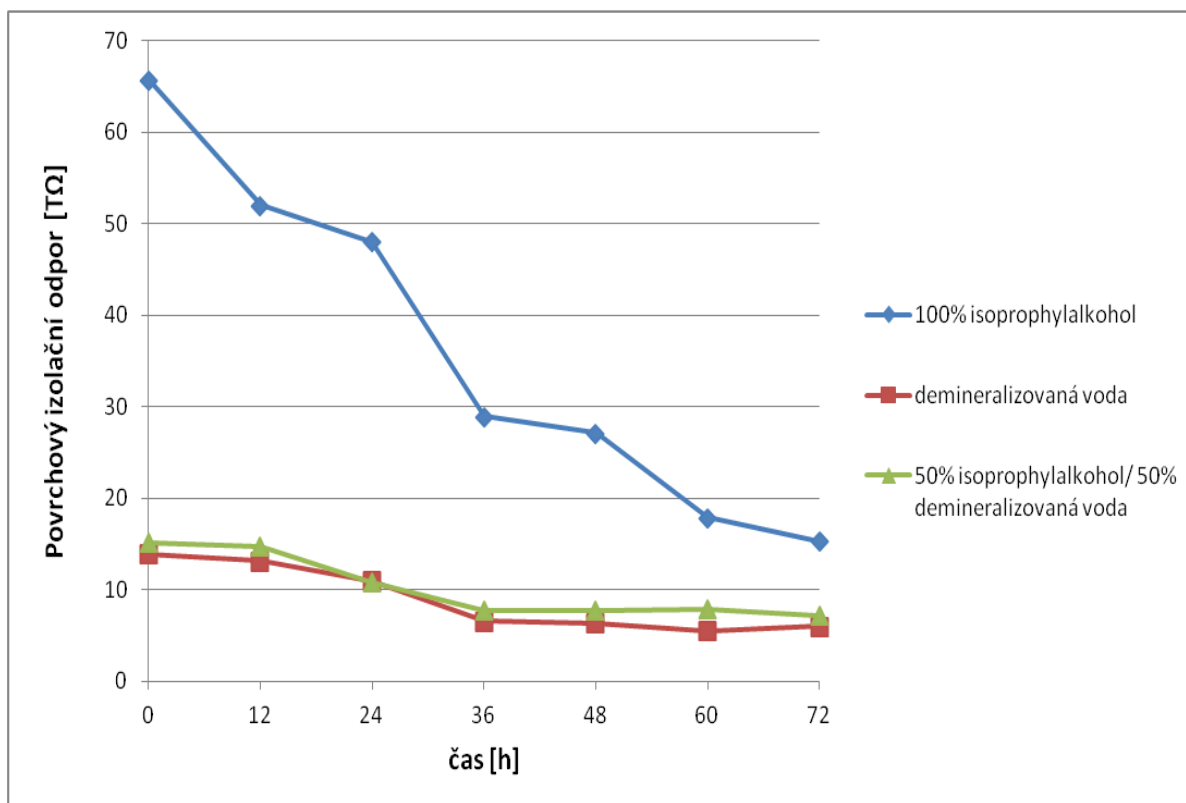
Obrázek 5.5 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 200 °C)
Tavidlo:SMF-2



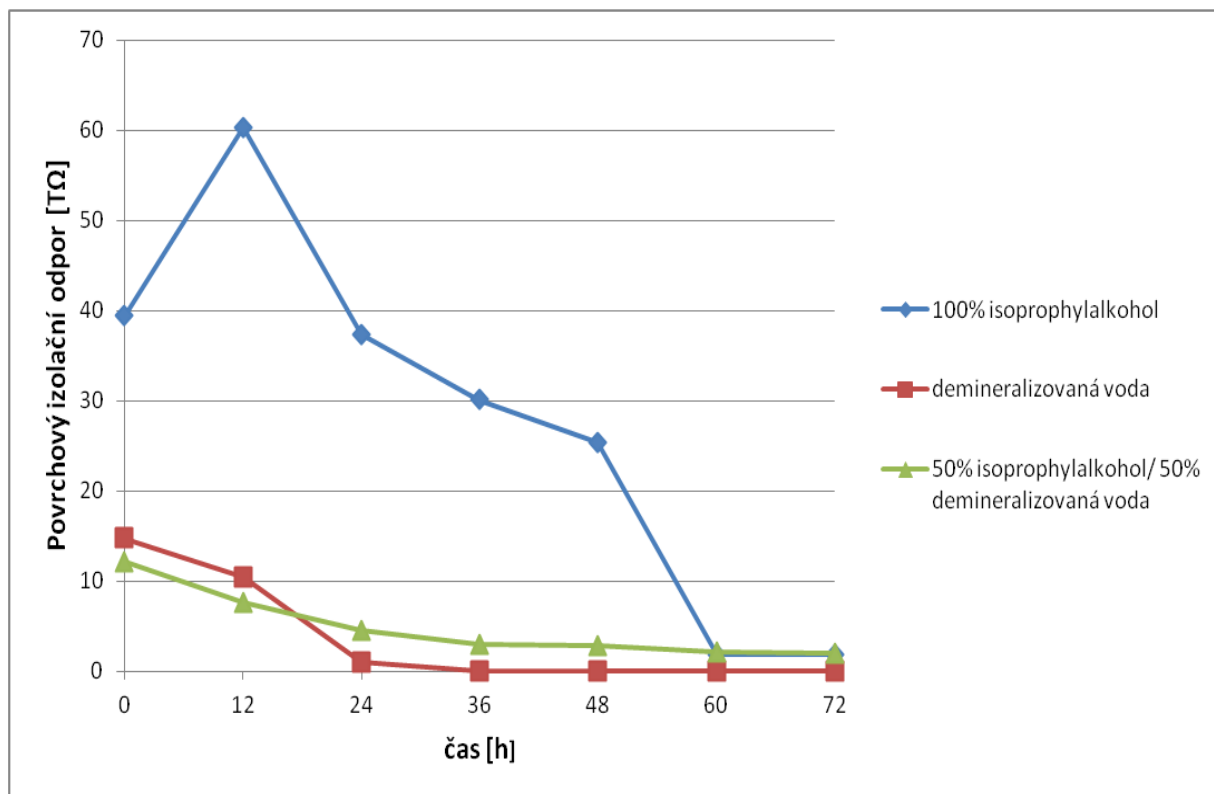
Obrázek 5.6 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 200 °C)
Tavidlo SMF-2



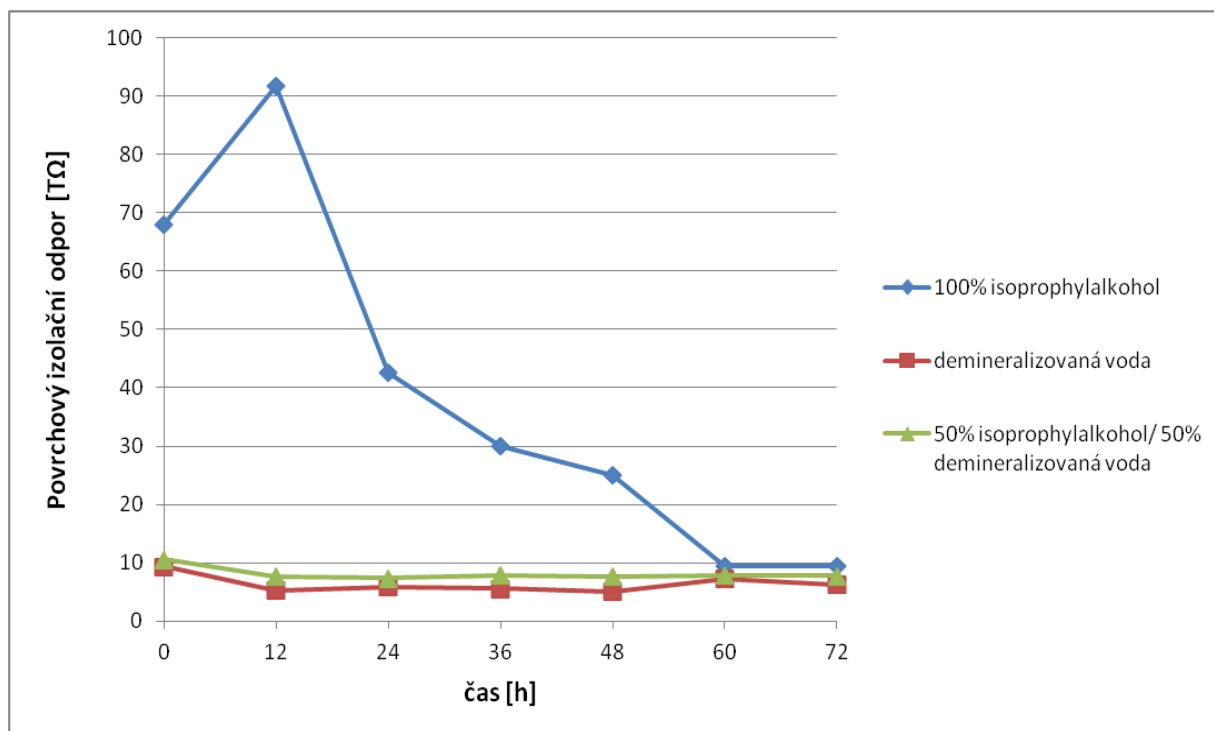
Obrázek 5.7 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 200 °C)
Tavidlo: P-30



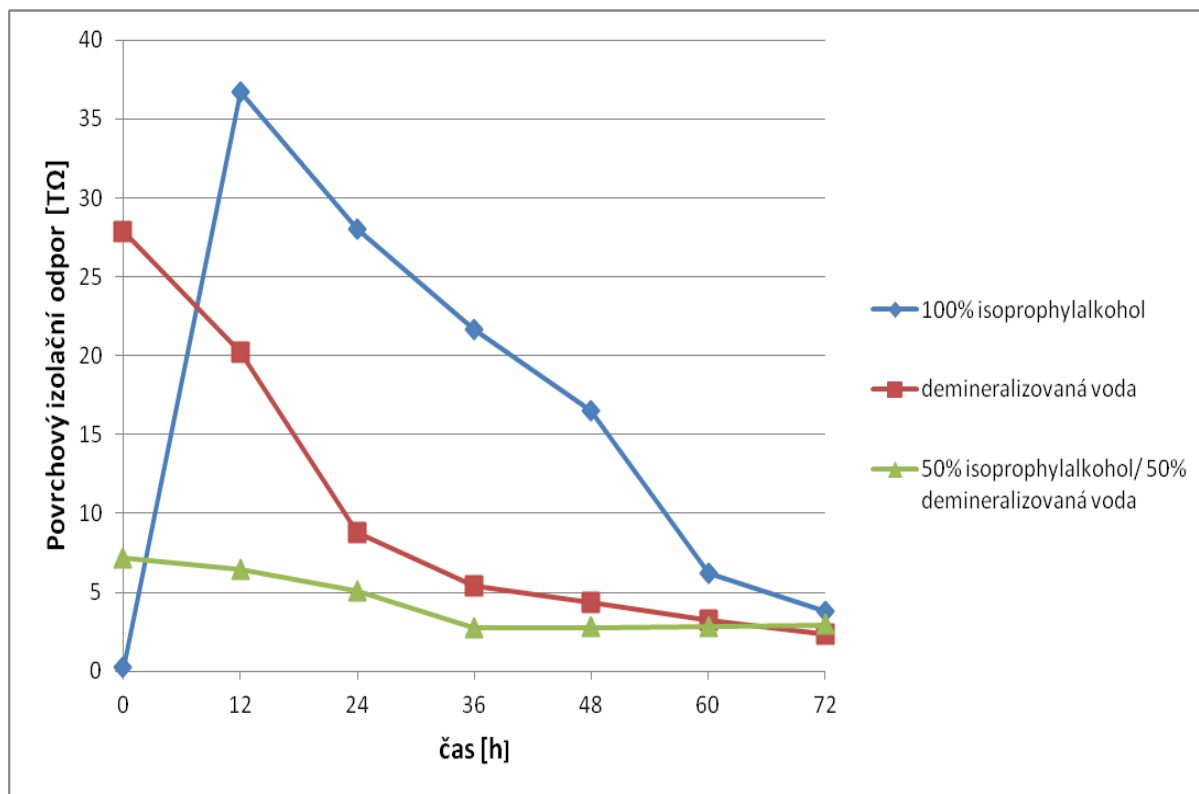
Obrázek 5.8 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 240 °C)
Tavidlo: P-30



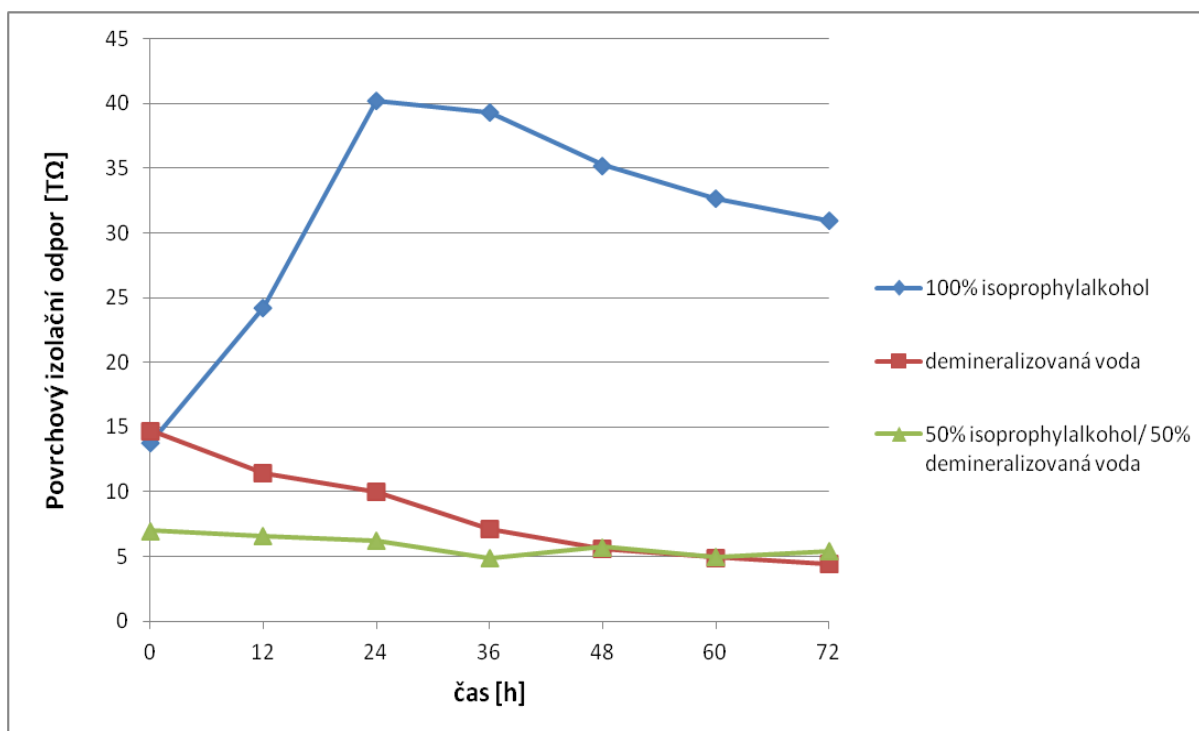
Obrázek 5.9 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 200 °C)
Tavidlo P



Obrázek 5.10 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 240 °C)
Tavidlo P



Obrázek 5.11 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 200 °C)
Tavidlo SM-816



Obrázek 5.12 Graf změny izolačního odporu v závislosti na čase (vzorky přetavené 240 °C)
Tavidlo: SM-816

5.6.2 Zhodnocení výsledků pro tavidlo SMF-2

Z *Obrázek 5.5* je vidět, že nejlepších výsledků dosahuje vzorek čištěný 100% isoprophylalkoholem. Vykazuje největší hodnoty izolačního odporu. Avšak při jednom měření klesla hodnota povrchového izolačního odporu pod 1 TΩ. Tato chyba mohla nastat díky nedokonalému kontaktu měřících svorek s vodivým povrchem desky. Izolační odpor po oplachu demineralizovanou vodou se pohyboval v rozmezí 7,88 TΩ - 1,85 TΩ. U oplachu 50% isoprophylalkoholem a 50% demineralizovanou vodou se izolační odpor pohyboval v rozmezí 11,67 TΩ - 4,26 TΩ. Z *Obrázek 5.6* můžeme vypořadovat, že nejlepší izolační vlastnosti vykazuje opět vzorek čištěný 100% isoprophylalkoholem. I po třídenním působení zatěžovacího napětí a vlhkosti byl naměřen izolační odpor téměř 13 TΩ. Největší výkyv nastal u vzorku čištěného 50% isoprophylalkoholem a 50% demineralizovanou vodou, kde při druhém měření klesla hodnota izolačního odporu na 0,2 TΩ.

5.6.3 Zhodnocení výsledků pro tavidlo P-30

U tohoto tavidla byl naměřen největší izolační odpor na vzorku čištěném 100% isoprophylalkoholem a to jak u vzorku přetaveného 200 °C tak i u vzorku přetaveného 240 °C, jak je patrné z *Obrázek 5.7* a *Obrázek 5.8*. Nejhorší izolační vlastnosti způsobil oplach demineralizovanou vodou u vzorku přetaveného teplotním profilem pro olovnatou technologii. Hodnota izolačního odporu se pohybovala v rozmezí 0,6 GΩ až 2 GΩ.

5.6.4 Zhodnocení výsledků pro tavidlo P

U tohoto tavidla je patrné, že vzorky čištěné 100% isoprophylalkoholem opět vykazují největší izolační odpor, avšak vlivem vlhkosti a zatěžovacím napětím, izolační odpor prudce klesal, až jeho hodnota při posledním měření byla téměř identická s posledními naměřenými hodnotami izolačního odporu u vzorků čištěných zbylými čistícími prostředky. Grafy byly zobrazeny na *Obrázek 5.9* a *Obrázek 5.10*.

5.6.5 Zhodnocení výsledků pro tavidlo SM-816

Hned při prvním měření byl u vzorku čištěného 100% isoprophylalkoholem a přetaveného 200 °C naměřen izolační odpor 0,2 T. Při dalším měření však izolační odpor prudce vzrostl až na 36 TΩ, což můžeme vypořadovat z *Obrázek 5.11*. Tato chyba mohla být způsobena špatným odečtením hodnoty z měřícího přístroje. Hodnoty izolačního odporu

u vzorku, který byl podroben oplachu demineralizovanou vodou se měnily jen minimálně a pohybovaly se v rozmezí od 7,16 TΩ do 2,95 TΩ. U druhého teplotního profilu použitého pro bezolovnatou technologii byl při posledním měření změřen velmi vysoký izolační odpor u vzorku čištěného 100% isoprofylalkoholem, jak je vidět z *Obrázek 5.12*. Jeho hodnota byla 30,97 TΩ, což mnohonásobně převyšovalo poslední naměřené hodnoty vzorků čištěných demineralizovanou vodou či podílem isoprofylakoholu a demineralizované vody.

Závěr

Tato bakalářská práce obsahuje rešerši, která se zabývá problematikou tavidel využívaných v pájecích pastách. Dále je práce zaměřena na tavidlové zbytky, které vzniknou po procesu pájení. Jsou zde také popsány metody čištění DPS.

Experimentální část je zaměřena na měření povrchového izolačního odporu. Zde je zkoumán vliv vlhkosti a zatěžovacího napětí na izolační odpor testované struktury. V práci jsou zkoumána 4 tavidla a jsou přetavena ve dvou teplotních profilech. První profil byl vytvořen pro olovnatou technologii a druhý pro bezolovnatou technologii.

Experiment ukázal, že jedním z nejdůležitějších faktorů je volba tavidla a užití vhodného teplotního přetavovacího profilu. Z výsledků vyplývá, že některá tavidla nebyla dostatečně aktivovaná a na jejich povrchu se vytvářely tavidlové zbytky, které pak snižovaly hodnotu izolačního odporu. Výrobci k tavidlům poskytují data, která popisují při jakých teplotách by mělo dojít k přetavení, aby DPS vykazovala nejlepší izolační vlastnosti. Z grafů je patrné, že mezi důležité faktory patří i volba čistícího média. Proto je důležité vybrat nejefektivnější metodu čištění a použít vhodné čistící médium. Z naměřených hodnot vyplývá, že nejlepší izolační vlastnosti vykazovaly vzorky, které byly podrobeny oplachu 100% isopropylalkoholem. Oproti tomu nejhorší izolační vlastnosti vykazovaly vzorky, které byly oplachovány demineralizovanou vodou. Dále je z experimentu patrné, že vlivem vlhkosti a působením zatěžovacího napětí se izolační odpor zmenšuje. Všechny výsledky jsou v práci shrnuty v tabulkách a grafech.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MACH, Pavel, Vlastimil SKOČIL a Jan URBÁNEK. *Montáž v elektrotechnice: Pouzdření aktivních součástek, plošné spoje*. Praha: ČVUT, 2001.
- [2] AF CZECH s.r.o. Typy pájecích past. [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: http://www.koki.org/Czech/pajeni_01.htm
- [3] JANÁČ, Martin. *Technologie tisku pájecí pasty*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [4] KONEČNÝ, Gustav. Sítotisk při výrobě desek plošných spojů. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=3806&buxus_svettisku=f3f3
- [5] SZENDIUCH, Ivan. *Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů*. Brno: Vutium, 2006. ČISTĚNÍ DPS
- [6] MICRO-ZONE. Odborný časopis pro vývoj a výrobu v oboru elektroniky. *DPS - plošné spoje od A do Z: odborný časopis pro vývoj a výrobu v oboru elektroniky* [online]. Liberec: CADware, 2010-2012, č. 1 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.mikrozone.sk/soubory/downloads/print/dps-az/1/vyroba-laserem-rezane-sablony.pdf>
- [7] Rozdělení a výběr tavidel. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/vyber-tavidel/>.
- [8] RATHINAVELU, Umadevi, Morten JELLESEN, Per MØLLER a Rajan AMBAT. *IEEE transactions on components, packaging, and manufacturing technology: Effect of No-Clean Flux Residues on the Performance of Acrylic Conformal Coating in Aggressive Environments*. April 2012. ISBN 2156-3950. Tavidlové zbytky
- [9] UHLÁŘ, Vít. *Tavidlové zbytky po pájení přetavením*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [10] TECHNICAL CO-SPONSORS IEEE, [IEEE Communications Society]. *2012 Fourth International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS 2012) January 3th [i.e. 3rd]-7th, 2012, Bangalore, India*. Piscataway, NJ: IEEE, 2012. ISBN 978-1-4673-0297-8
- [11] Obrázek dostupný online na: http://www.residues.com/flux_residues.html
- [12] PAŠKO, Martin. *Analýza změn v pájených spojkách vzniklých vlivem stárnutí*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v brně. ELEKTOMIGRACE

- [13] KRYLL, Josef. *Tavidla pro strojní pájení vlnou a tavidlové zbytky*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [14] SZENDIUCH, Ivan. Montáž elektronických obvodů. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/mmte/>

- [15] JELÍNEK, Tomáš. *Mikroelektronika a technologie*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [16] DÓCZY, Robert. *Izolační vlastnosti struktur typu Flip chip*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

Příloha A: Naměřené hodnoty povrchového izolačního odporu

Tab. A-I Výsledky měření pro tavidlo SMF-2 (oplach 100% isopropylalkohol)

Tavidlo SMF-2						
Oplach - 100% isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
19,77	20,07	0,145	35,12	28,15	5,06	4,02
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
23,02	25,02	23,62	20,89	18,35	13,39	12,58

Tab. A-II Výsledky měření pro tavidlo SMF-2 (oplach demineralizovaná voda)

Tavidlo SMF-2						
Oplach - demineralizovaná voda						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
7,69	7,88	3,87	2,13	3,81	2,21	1,85
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
11,67	11,77	8,03	5,53	4,35	4,75	4,26

Tab. A-III Výsledky měření pro tavidlo SMF-2 (oplach 50% demineralizovaná voda a 50% isopropylalkohol)

Tavidlo SMF-2						
Oplach - 50 % demineralizovaná voda a 50 % isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
25,66	13,89	7,19	3,46	3,85	3,21	2,52
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
1,71	0,21734	1,6	2,64	2,66	2,54	2,25

Tab. A-IV Výsledky měření pro tavidlo P-30 (oplach 100% isopropylalkohol)

Tavidlo P-30						
Oplach - 100% isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
53,9	54,48	28,37	23,01	20,93	7,88	6,53
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
65,7	52,04	48,05	28,96	27,12	17,88	15,3

Tab. A-V Výsledky měření pro tavidlo P-30 (oplach demineralizovaná voda)

Tavidlo P-30						
Oplach - demineralizovaná voda						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
0,000609	0,000161	0,00147	0,00243	0,00171	0,0039	0,00204
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
13,89	13,11	10,94	6,55	6,35	5,53	5,98

Tab. A-VI Výsledky měření pro tavidlo P-30 (oplach 50% demineralizovaná voda a 50% isopropylalkohol)

Tavidlo P-30						
Oplach - 50 % demineralizovaná voda a 50 % isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
7,65	7,59	6,33	3,23	2,77	2,54	2,86
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
15,17	14,77	10,84	7,74	7,78	7,92	7,16

Tab. A-VII Výsledky měření pro tavidlo SM-816 (oplach 100% isopropylalkohol)

Tavidlo SM - 816						
Oplach - 100% isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
0,284	36,68	28	21,69	16,51	6,21	3,76
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
13,79	24,25	40,23	39,34	35,25	32,66	30,97

Tab. A-VIII Výsledky měření pro tavidlo SM-816 (oplach demineralizovaná voda)

Tavidlo SM - 816						
Oplach - demineralizovaná voda						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
27,89	20,25	8,8	5,38	4,33	3,25	2,38
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
14,72	11,44	10,02	7,12	5,62	4,92	4,43

Tab. A-IX Výsledky měření pro tavidlo SM-816 (oplach 50% demineralizovaná voda a 50% isopropylalkohol)

Tavidlo SM - 816						
Oplach - 50 % demineralizovaná voda a 50 % isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
7,16	6,43	5,09	2,77	2,79	2,86	2,95
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
7,01	6,58	6,25	4,86	5,75	4,98	5,45

Tab. A-X Výsledky měření pro tavidlo P (oplach 100% isopropylalkohol)

Tavidlo P						
Oplach - 100% isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
39,52	60,26	37,32	30,1	25,39	1,86	1,91
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
68,07	91,75	42,64	29,99	25,1	9,51	9,41

Tab. A-XI Výsledky měření pro tavidlo P (oplach demineralizovaná voda)

Tavidlo P						
Oplach - demineralizovaná voda						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
14,74	10,44	1,03	0,0093	0,056	0,086	0,047
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
9,33	5,24	5,92	5,54	5,12	7,29	6,27

Tab. A-XII Výsledky měření pro tavidlo P (oplach 50% demineralizovaná voda a 50% isopropylalkohol)

Tavidlo P						
Oplach - 50 % demineralizovaná voda a 50 % isopropylalkohol						
Povrchový izolační odpor [TΩ]						
Vzorky přetavené 200°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
12,15	7,6	4,52	3,04	2,88	2,15	1,98
Vzorky přetavené 240°C						
počáteční stav	1. den		2.den		3den	
10,56	7,64	7,39	7,83	7,65	7,84	7,75