

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vodivé lepení v elektrotechnice

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

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

Jméno a příjmení: **Jiří ŠPIROCH**
Osobní číslo: **E11B0170P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Vodivé lepení v elektrotechnice**
Zadávající 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 vodivého lepení v elektrotechnice
2. Vypracujte přehled používaných a dostupných vodivých lepidel na trhu s ohledem na jejich vlastnosti a možné využití
3. Navrhněte a proveďte experiment pro ověření spolehlivosti lepeného spoje
4. Proveďte 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 ELECTRONIC

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 Hammerbater, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou elektricky vodivých lepidel. Teoretická část je zaměřena na strukturu a rozdělení elektricky vodivých lepidel, porovnání vlastností spojů lepených se spoji pájenými a na přehled dostupných elektricky vodivých lepidel na trhu. V praktické části je popsán experiment, který je zaměřený na mechanické vlastnosti lepeného spoje.

Klíčová slova

Elektricky vodivá lepidla, anizotropní vodivá lepidla, izotropní vodivá lepidla

Abstract

This bachelor this deals with conductive adhesives. The theoretical part focuses on the structure and distribution of electrically conductive adhesives, comparing the properties of adhesive joints with soldered joints and the list of available electrically conductive adhesives on the market. The practical part describes the experiment, which is focused on the mechanical properties of the adhesive joint.

Key words

Electrically conductive adhesives, Anisotropic Conductive Adhesive, Isotropic Conductive Adhesives

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

V Plzni dne 6.6.2014

Jiří Špiroch

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Rendlovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 ELEKTRICKY VODIVÁ LEPIDLA.....	11
1.1 STRUKTURA ELEKTRONICKY VODIVÝCH LEPIDEL	11
1.2 ROZDĚLENÍ LEPIDEL	12
1.2.1 <i>Izotropní elektricky vodivá lepidla.....</i>	<i>12</i>
1.2.2 <i>Anizotropní elektricky vodivá lepidla.....</i>	<i>13</i>
1.2.3 <i>Elektricky nevodivá lepidla.....</i>	<i>14</i>
1.3 NANESENÍ LEPIDEL	14
1.3.1 <i>Sítotisk.....</i>	<i>14</i>
1.3.2 <i>Šablonový tisk</i>	<i>15</i>
1.3.3 <i>Dávkovačem.....</i>	<i>15</i>
1.3.4 <i>Hrotem</i>	<i>15</i>
1.4 VYTVRZOVÁNÍ LEPIDEL	15
1.5 ZÁSADY PRO APLIKACI LEPIDEL.....	16
1.6 DEGRADAČNÍ MECHANISMY	17
1.6.1 <i>Homogenita spojů vytvořených pomocí elektricky vodivých lepidel.....</i>	<i>18</i>
1.7 POROVNÁNÍ PÁJENÍ A VODIVÉHO LEPENÍ	18
2 PŘEHLED DOSTUPNÝCH VODIVÝCH LEPIDEL NA TRHU.....	20
2.1 EPOXY TECHNOLOGY	20
2.1.1 <i>Jednosložková vodivá lepidla.....</i>	<i>20</i>
2.1.2 <i>Dvousložková vodivá lepidla</i>	<i>21</i>
2.2 AMEPOX MICROELECTRONICS LTD.	22
2.3 HENKEL	23
2.3.1 <i>Izotropní vodivá lepidla.....</i>	<i>24</i>
2.3.2 <i>Anizotropní vodivá lepidla</i>	<i>25</i>
2.3.3 <i>Nevodivá lepidla</i>	<i>25</i>
2.4 PANACOL.....	26
2.4.1 <i>Tepelně vodivá lepidla</i>	<i>26</i>
2.4.2 <i>Izotropní vodivá lepidla</i>	<i>27</i>
2.4.3 <i>Anizotropní vodivá lepidla</i>	<i>28</i>
2.5 PERMACOL.....	28
3 EXPERIMENT	30
3.1 TESTOVACÍ VZORKY	30
3.2 NANESENÍ ELEKTRICKY VODIVÉHO LEPIDLA A JEHO VYTVRZENÍ.....	31
3.3 MĚŘENÍ MECHANICKÉ PEVNOSTI	31
3.4 METALOGRAFICKÉ VÝBRUSY A ANALYZOVÁNÍ STRUKTURY LEPENÝCH SPOJŮ	32
3.5 NAMĚŘENÉ HODNOTY A VÝSLEDKY.....	33
3.5.1 <i>Výsledky měření mechanické pevnosti lepeného spoje.....</i>	<i>33</i>
3.5.2 <i>Výsledky analyzování struktury lepeného spoje.....</i>	<i>34</i>
ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	37

Seznam symbolů a zkratk

ACA	Anisotropic Conductive Adhesive- anizotropní vodivé lepidlo
ECA	Electrically Conductive Adhesive- elektricky vodivé lepidlo
FR4	Flame Retardant Class 4- kompozitní materiál ze skelné tkaniny a epoxidové pryskyřice
ICA	Isotropic Conductive Adhesive- izotropní vodivé lepidlo
SMD	Surface Mount Device

Úvod

Elektricky vodivá lepidla a jejich použití v elektrotechnickém průmyslu je stále více aktuální, neboť lepené spoje do budoucna představují alternativní náhradu za spoje pájené a jsou akceptovatelné z hlediska ekologického. Lepidla jsou oproti pájkám výrazně elastičtější. Jejich základní hmotou je epoxidová pryskyřice a vodivost je způsobena kovovými plnidly, která musí být obsažena v co největším procentuálním množství. [1]

Předkládaná práce pojednává o problematice vodivých lepidel v elektrotechnice. Práce je rozdělena na tři části. První část se zabývá problematikou vodivých lepidel, jejich složením a strukturou. Druhá část analyzuje přehled používaných a dostupných vodivých lepidel na trhu s ohledem na jejich vlastnosti a možné využití. Třetí praktická část je zaměřena na experiment.

Experiment se týká mechanických vlastností lepeného spoje, který je realizován dvousložkovým elektricky vodivým lepidlem EPO-TEK H20S od společnosti Epoxy Technology. Mechanické vlastnosti lepeného spoje byly měřeny provedením zkoušky na mechanickou pevnost na trhacím zařízení a analyzováním struktury lepeného spoje na mikroskopickém pracovišti.

1 Elektricky vodivá lepidla

Elektricky vodivá lepidla, jsou výrazně elastičtější než pájky. V budoucnosti jsou uvažována jako náhrada za pájky. Tvar spoje je podobný pájenému. Lepidla, ale nemají vlastnost smáčivosti. [1]

Jsou na bázi pryskyřice, která slouží jako základní hmota. Vodivost je způsobena kovovými plnidly, částicemi. Ty jsou obsahovány v co největším procentuálním množství a to proto, aby zajišťovaly požadovanou vodivost. Vodivá lepidla obvykle tvoří plnidla z drahých kovů jako stříbro a zlato. Používá se také nikl a měď aby se snížila cena, ale to zhorší vodivost. [2]

Elektricky vodivá lepidla se skládají ze dvou složek: ze složky vazební a vodivé. Zásadní rozdělení je ovšem podle vodivosti na dva základní typy. Lepidla s izotropní vodivostí a lepidla s anizotropní vodivostí. [2]

1.1 Struktura elektronicky vodivých lepidel

Elektricky vodivá lepidla se skládají obecně ze dvou složek. Složky vazební (binder) a složky vodivé (plnivo-filler). Jak složka vazební, tak složka vodivá má svoji funkci. Složka vazební má za úkol vytvořit izolační matici, ve které se nacházejí vodivé částice a obstarávají také klimatickou odolnost a mechanické vlastnosti spoje (pevnost, houževnatost, adheze). Vazební část je buď, jednosložková nebo dvousložková. Je tvořena pryskyřicí různého typu. V největší míře se užívá epoxidových pryskyřic, ale jsou i elektricky vodivá lepidla na bázi polyamidových a silikonových pryskyřic. Vazební složka se obvykle vytvrzuje při vyšší teplotě 100-140 °C. Doba vytvrzování při této teplotě bývá od 30 minut do 2 hodin. U dvousložkového lepidla se k pryskyřici přidává tvrdidlo. Proto jsou známá i vodivá lepidla, která se vytvrzují při pokojové teplotě. Doba vytvrzování se však výrazně zvyšuje. [2]

Složka vodivá je tvořena elektricky vodivými částicemi, které jsou tvořeny nejčastěji stříbrnými, niklovými, paladiovými a měděnými pocínovanými částicemi. Tyto částice jsou dvojího tvaru, který výrazně ovlivňuje vodivé vlastnosti. Obvykle mají tvar kuliček o malém

průměru většinou jednotek μm . V lepidle bývají kuličky stejné velikosti. Částice mohou být také ve tvaru lupínků. Velikost lupínku v lepidle se obvykle liší. [2]

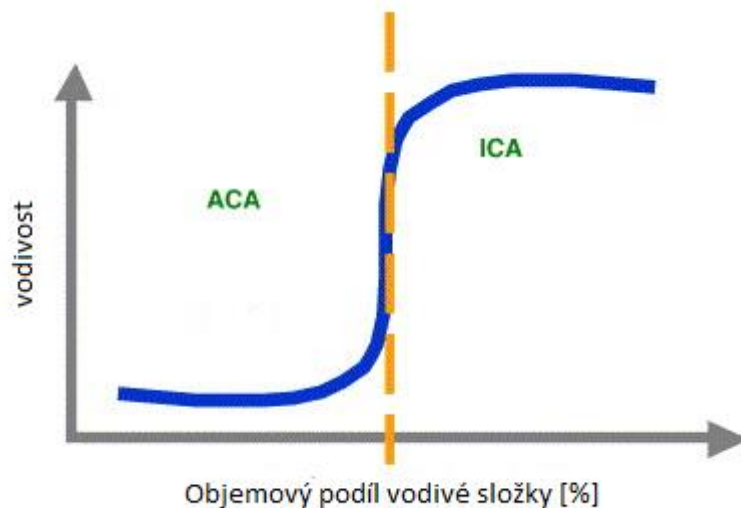
1.2 Rozdělení lepidel

V elektronice se používá několik druhů lepidel, která se nadále dělí podle použití. Dvěma hlavními skupinami jsou: [2]

- Vodivá (pro vytváření vodivých spojů)
- Nevodivá (především pro připevnění součástky)

Zásadním u vodivých lepidel je rozdělení podle elektrické vodivosti na dva základní typy. Lepidla s izotropní elektrickou vodivostí a lepidla s anizotropní elektrickou vodivostí. [2]

Rozdíl mezi anizotropními a izotropními lepidly je definován perkolační teorií (*Obr. 1.1*). Práh perkolace závisí na velikosti a tvaru částic vodivé složky. Pohybuje se v rozmezí 15-25% , vzhledem k celkovému objemu vodivé složky. Když objem vodivé složky (plniva) přesáhne perkolační práh, jedná se o lepidla s vodivostí ve všech směrech. Nepřesáhne-li objem plniva práh perkolace, znamená to, že vodivá složka má malý podíl a nezajišťuje vodivost ve všech směrech, ale pouze v jednom směru. [3], [10]



Obr 1.1: Perkolační křivka [3]

1.2.1 Izotropní elektricky vodivá lepidla

Izotropní elektricky vodivá lepidla (ICA) mají elektrickou vodivost ve všech směrech jako kovové pájky. Izotropní vodivá lepidla jsou kompozity z polymerové pryskyřice

a vodivých plniv. Vodivou složkou jsou částice kulového tvaru, anebo také směs částic kuliček a lupínků. Rozměry částic jsou obvykle od několika μm do 15 μm . V izolační matrici je hustota částic tak velká, že se částice dotýkají a to zajistí vodivost. Z různých vodivých částic patří mezi nejpoužívanější u izotropních vodivých lepidel částice stříbrné a to kvůli vysoké vodivosti a jednoduchému procesu zpracování. Vazební složku tvoří a tím vytvářejí izolační matrici nejčastěji epoxidové pryskyřice. Jsou používány nejčastěji vzhledem k jejich vyváženým vlastnostem pevnosti lepení, dobré chemické a korozní odolnosti a nízkých nákladů. U izotropních vodivých lepidel se pro polymerové matrice využívají dva typy materiálů. Reaktoplastické a termoplastické. Největší výhodou termoplastického izotropního lepidla je, že jsou umožněny opravy. Dá se s nimi tedy opakovaně pracovat. Ovšem nevýhodami je degradace adheze při vysoké teplotě a také to, že obsahují rozpouštědla. Rozpouštědla se během ohřevu odpařují a vznikají dutiny. [2], [3], [4], [9]

1.2.2 Anizotropní elektricky vodivá lepidla

Anizotropní elektricky vodivá lepidla (ACA) mají elektrickou vodivost pouze v jednom směru. Osy x a y předpokládáme, že jsou v rovině substrátu a vodivým směrem bývá směr osy z. Vazební složkou nejčastěji bývají termoplastické pryskyřice. Vodivou složkou (plnivem) jsou nejčastěji lupínky kovů, ale mohou mít i jiný tvar a to částic kulového tvaru o velikosti pohybující se přibližně 10 μm . Tyto částice se skládají z tvrdého polymeru, který má na povrchu nanesenou elektricky vodivou vrstvu kovu, pokrytou další vrstvou tenké izolace. Izolační vrstva v klidovém stavu brání vodivému propojení. Obsah vodivých částic je relativně nízký. Obvykle 20%-30%. Stlačíme-li, při osazení součástky vrstvu anizotropního lepidla, dojde tím k mechanickému kontaktu s vodivými částicemi a takto dojde k vytvoření vodivosti. V jiných směrech lepidlo stále zůstává nevodivé. [4], [11], [12]

Na Obr. 1.2 Struktura anizotropních a izotropních vodivých lepidel.



Obr. 1.2: Struktura vodivých lepidel [5]

1.2.3 Elektricky nevodivá lepidla

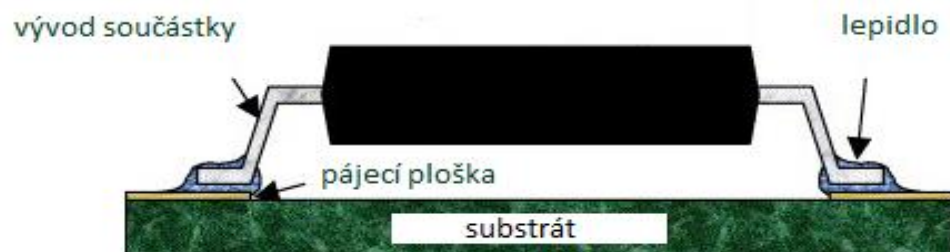
Nevodivá lepidla můžeme rozdělit na elastometrická, termoplastická a lepidla tvrditelná teplem (termosety). Nevodivá lepidla neobsahují žádné vodivé částice. Spojení je dosaženo utěsněním kontaktu na desku plošného spoje pod tlakem a za tepla. Působením tlaku a tepla dojde k vytvrzení lepidla a tím vznikne trvalý spoj. [3], [4]

1.3 Nanesení lepidel

Nanášení vodivých lepidel je možné provést několika procesy. Způsob nanášení ovlivňuje několik faktorů. Hlavní faktor je typ lepidla, jeho vlastnosti a velikost plochy, na kterou lepidlo nanášíme. Mezi základní způsoby nanášení lepidel patří: [1]

- Sítotisk
- Šablonový tisk
- Dávkovačem
- Hrotem

Na *Obr. 1.3* lze vidět boční pohled propojení mezi komponenty a substrátem pomocí vodivého lepidla. [3]



Obr. 1.3: Spoj vytvořený vodivým lepidlem [3]

1.3.1 Sítotisk

Metoda nanášení lepidel sítotiskem je velice podobná jako u nanášení pájecích past. Jedná se o rychlý a relativně přesný způsob. Lepidlo se nanáší na pájecí plošky substrátu za pomoci stěrky, protlačení přes otvory síta. Celý proces se provádí v jednom kroku. Sítotisk je nejvhodnější metoda pro jednodušší motivy a pro pájecí plošky, které se nacházejí na substrátu větších rozměrů. [1]

1.3.2 Šablonový tisk

Obdobně jako u sítotisku je prováděna metoda šablonového tisku. Rozdíl mezi nimi je v protlačení lepidla. Zatímco u sítotisku je lepidlo protlačováno přes otvory síta, tak u šablonového tisku je lepidlo protlačováno otvory v šabloně. Šablona je obvykle tvořena kovovou planžetou. V ní jsou vytvořeny např. vyleptáním, nebo vyřezáním laserem otvory na místech kde má být lepidlo nanášeno. Celý proces je totožný s nanášením pájecí pasty. [1]

1.3.3 Dávkovačem

Nejrozšířenější způsob nanášení lepidla je dávkovačem. Lepidlo se aplikuje ze zásobníku dutou jehlou pomocí dávkovače. Záleží na tlaku, době dispenze, průměru jehly, vzdálenosti jehly od substrátu a vlastnostech lepidla. Celý proces lze provádět automatizovaně, ovšem je třeba sladit proces s vlastnostmi lepidla. Proces je poměrně rychlý a flexibilní. [1]

1.3.4 Hrotem

Další způsob nanášení lepidel hrotem je metoda, při níž aplikujeme kapičky lepidla ze zásobníku za pomoci kovových jehliček neboli hrotů. Ty jsou většinou umístěny tak, aby měli stejnou polohu jako přípojovací plošky na substrátu, na které kapičky lepidla nanese. Celý proces začíná ponořením hrotů do nádoby s lepidlem. Poté se hroty, které jsou, připevněny na fixační mřížce přemístí na místo aplikace lepidla a kapky lepidla se dostanou na přípojovací plošky. [1]

1.4 Vytvrzování lepidel

U většiny jednosložkových lepidel je zapotřebí, aby po aplikaci lepidla na kontaktní plošky a umístění vývodů součástky bylo lepidlo vytvrzeno. Po vytvrzení je zajištěno pevné mechanické a elektrické spojení. Vytvrzování se provádí dvěma základními způsoby: [1]

- Vytvrzování při zvýšené teplotě
- Vytvrzování ultrafialovým zářením

Tepelné vytvrzování se provádí v pecích s odporovým nebo infračerveným ohřevem. Každé lepidlo má podle svých vlastností různou dobu vytvrzování, která je definována výrobcem. Pro kvalitní vytvrzení se lepidla zpravidla vytvrzují teplotou pohybující se v rozmezí 80-180 °C po dobu 30-180 minut. Záleží na konkrétním typu lepidla. Průběh

teploty v peci ovšem může výrazně ovlivnit pevnost spoje. Výše teploty je pro vlastnosti spoje důležitější než doba vytvrzování. Jakost spoje může být zhoršena také čistotou povrchu a vlhkostí na povrchu substrátu před aplikací lepidla. [1]

Vytvrzování ultrafialovým zářením je velice rychlé a proto výhodné. Doba vytvrzování se obvykle pohybuje v rozmezí několika desítek vteřin. Nanášené množství lepidla ale musí být větší než při vytvrzování teplotou. Lepidlo by mělo přesahovat připojovanou plochu z důvodu proniknutí záření do vnitřní struktury lepidla. [1]

Tab. 1-1 Vlastnosti elektricky vodivých lepidel [1]

Pryskyřice	Plnivo	Typ částic	Měrný odpor (Wcm)	Doba vytvrzování (min)	Teplota vytvrzování (°C)
epoxidové	Ag	lupínky	$6 \cdot 10^{-5}$	60	130
epoxidové	pocín. Cu	lupínky	$4 \cdot 5 \cdot 10^{-5}$	30	125
epoxidové	Ni	lupínky	1	120	65
polyimidová	Ag	jiný	$5 \cdot 10^{-4}$	60	140
silikonová	Ag	lupínky	$1 \cdot 10^{-2}$	168 hod	25
		kuličky			

1.5 Zásady pro aplikaci lepidel

Elektricky vodivá lepidla, nebo aspoň většina z nich, by měla být uskladněna ve speciálních podmínkách a to nejčastěji v chladícím zařízení. Prodlouží to životnost lepidla před použitím. [5]

Plochy, na které lepidlo aplikujeme, musí být kvalitně očištěny chemicky i mechanicky. Tím je dosaženo vysoké nebo dostačující kvality jak elektrických, tak i mechanických vlastností spojů. Podstatné je, aby aplikace lepidla proběhla na určené místo a v správném množství. Když se nanese příliš malé množství lepidla, může nastat nežádoucí jev odpadání součástek a elektrické vlastnosti nemusí být vyhovující. Naopak při nanesení příliš velkého množství lepidla, dochází k následnému přetékaní lepidla. [5]

U dvousložkových lepidel je zapotřebí před aplikací obě složky dobře smísit. Musí být dodržen poměr složek daný od výrobce. [5]

Aplikování lepidel, jejich chování a vlastnosti lze rozdělit do tří fází: [1]

- před vytvrzením
- při vytvrzování
- po vytvrzení

Vlastnosti před vytvrzováním závisejí především na složení lepidel. Zda se jedná o jednosložková či dvousložková lepidla. V praxi jsou preferovaná spíše jednosložková lepidla díky své jednoduchosti. Dvousložková lepidla jsou náročnější na přípravu i zpracování. Dokud se lepidlo nevytvdí, mělo by mít dostatečnou sílu udržet součástku během manipulace před vytvrzováním. [1]

Vytvrzovací podmínky jsou dány teplotním profilem. Teplotní profil je určen časem a teplotou. Je požadovaná co nejnižší teplota a co nejkratší čas, v takové míře, aby se docílilo požadovaných mechanických a elektrických vlastností. Při vytvrzování se ovšem musí použít taková teplota, aby nedošlo k poškození součástek ani substrátu. V lepidlech by neměly vznikat žádné vedlejší produkty nebo plyny, které by způsobily prázdná místa nebo znečištění. [1]

Vlastnosti po vytvrzení již nejsou tak důležité, ale zajímají nás elektrické a mechanické vlastnosti spoje. [1]

1.6 Degradční mechanismy

Degradční mechanismy jsou změny vlastností konstrukčních použitých materiálů v produktu. Jedná se o nevratné procesy. Degradčních mechanismů existuje několik. Liší se podle vlastností produktu. Při řešení poruch je zapotřebí přihlížet k několika faktorům, jako jsou například: [6]

- Základní vlastnosti materiálů
- Vlivy ovlivňující degradační procesy
- Druhy degradačních procesů
- Provozní podmínky
- Dodržení skladových podmínek a mnoho dalších vlivů

Následkem degradačních procesů je zejména zkrácení životnosti. V této podkapitole se konkrétněji zaměříme na procesy, které souvisejí s elektricky vodivými lepidly. [6]

1.6.1 Homogenita spojů vytvořených pomocí elektricky vodivých lepidel

Při procesu nanášení a vytvrzování může dojít ve spoji ke vzniku nehomogenit tzv. dutin. Jakmile se ve vytvrzeném spoji objeví dutiny, sníží se významně vnitřní homogenita. Tím se sníží i spolehlivost spoje z pohledu elektrických i mechanických parametrů. Nehomogenity přivodí obzvláště tyto jevy: [6]

- Snížují skutečný vodivý průřez lepeného spoje, tím zvýší odpor, proudovou hustotu a teplotu ve spoji, když prochází elektrický proud.
- Vzduchové bubliny se řadí mezi hlavní faktory, které brání použití elektricky vodivých lepidel pro aplikace s vysokými proudy a napětím, např. z důvodu částečných výbojů.
- Ovlivňují mechanickou pevnost spoje. Snížují ji, ale za určitých okolností ji mohou i zvětšit a to v tom případě dojde-li k nežádoucímu zatečení vodivého lepidla pod součástku.
- Celkově ovlivňují trvalou pevnost spoje. Především ve zhoršených klimatických podmínkách jako relativní vlhkost, snížený tlak, popřípadě znečištěná atmosféra.

Jevů způsobujících nehomogenity a příčin vzniků je více. Mezi hlavní faktory lze zahrnout viskozitu elektricky vodivého lepidla a nechtěné vmíchání vzduchových bublin do lepidla při nanášení. [6]

Dále ovlivňuje vznik nehomogenit proces vytvrzení. Kvůli rozdílné reaktivitě jednosložkového a dvousložkového vodivého lepidla je proces vytvrzování jiný. Unikání těkavých složek a klesající viskozita naneseného vodivého lepidla na začátku vytvrzování, může způsobit vytečení lepidla pod součástku, zkrat, nebo roztečení kolem vodivé plošky. Při procesu vytvrzování se nepoužívá označení vzduchové bubliny, ale jedná se o pevné dutiny, které obsahují plyn. [6]

1.7 Porovnání pájení a vodivého lepení

Pro porovnání pájení a vodivého lepení se hodnotí vlastnosti obou spojů. Obecně se dá říci, že pájení má lepší vlastnosti. Do budoucna ovšem technologie pájení je omezena z ekologických důvodů. V *Tab. I-II* je uvedeno porovnání vlastností pájených a vodivých spojů. [2], [8]

Z hlavních vlastností spojů, lze říci, že lepené spoje potřebují kvalitně připravené plochy pro aplikaci. Zatímco kvalita plochy u pájených spojů může být nižší, jelikož povrch je zpravidla očištěn tavidlem. Pájené spoje mají s lepenými srovnatelný odpor. Šum a nelinearitu, ale mají větší lepené spoje. Lepené spoje nejsou tak časově stabilní ve srovnání s pájenými. [2]

Mimo porovnávání vlastností spojů, se také provádí hodnocení kvality na základě celé řady testů. Mezi ně patří sledování: [2]

- Struktury materiálů spojů
- Tvaru spojů
- Elektrických vlastností spojů
- Migrace iontů
- Adheze spojů

Tab. 1-II Porovnání vlastností pájených a lepených spojů [1]

Vlastnost spoje	SnPb pájka	Elektricky vodivá lepidla
vodivost	izotropní	izotropní
		anizotropní
odpor	srovnatelný	srovnatelný
šum	nižší	vyšší
nelinearita	nižší	vyšší
stabilita	vyšší	nižší
odolnost proti navlhání	vyšší	nižší
vliv materiálu spojovaných částí	srovnatelný	srovnatelný
vliv kvality spojovaných povrchů	nižší	vyšší
adheze	vyšší	nižší
iontová migrace	ne	je možná
spolehlivost	vyšší	nižší
doba života	vyšší	nižší
cena	nižší	vyšší

2 Přehled dostupných vodivých lepidel na trhu

V této kapitole rozebereme trh s používanými a dostupnými elektricky vodivými lepidly na trhu s ohledem na jejich vlastnosti. V následujících podkapitolách se zaměříme na několik společností působících v Evropě. U výrobce je vždy uvedena tabulka s vlastnostmi jednotlivých lepidel, které vyrábí a uvádí na trh.

2.1 Epoxy Technology

Společnost Epoxy Technology, byla založena v roce 1966. Založil ji Frank W. Kulesza, který je považován za jednoho z průkopníků průmyslu s vodivými lepidly. Vyrábí vysoce kvalitní speciální lepidla pro pokročilá průmyslová odvětví po celém světě. Všechny produkty epoxidové technologie jsou důkladně testovány v laboratořích pro zajištění spolehlivosti výrobku. Společnost vyrábí širokou škálu lepidel v různých průmyslových odvětvích, včetně lepidel týkajících se elektronických montáží a to jak nevodivých tak i vodivých lepidel. [8]

Epoxy Technology vyrábí celou řadu elektricky vodivých lepidel jednosložkových i dvousložkových. Pro větší přehlednost jsou rozdělena jednosložková a dvousložková lepidla do dvou tabulek. Lepidlo od této společnosti EPO-TEK H20S, bylo použito v experimentu této bakalářské práce.

2.1.1 Jednosložková vodivá lepidla

Společnost Epoxy Technology nabízí celou řadu jednosložkových lepidel. Tab. 2-1 obsahuje patnáct nejprodávanějších typů jednosložkových lepidel.

Tab. 2-1 Jednosložková elektricky vodivá lepidla společnosti Epoxy technology [8]

Název produktu	Typ lepidla	Teplota skleného přechodu T _g	Doba vytvrzení [mPa·s]	Viskozita [mPa·s]	Rezistivita [Ω·cm]
EPO-TEK B9126-8	jednosložkové	60°C	5 min při 150°C nebo 15 min při 120°C	18500	0.0002
EPO-TEK E3001	jednosložkové	90°C	45 sek při 170°C nebo 5 min při 160°C nebo 15 min při 150°C	4100	0.0005
EPO-TEK E3001-HV	jednosložkové	100°C	2 min při 180°C nebo 15 min při 150°C	14000	0.0005
EPO-TEK E3035	jednosložkové	100°C	1 hod při 180°C nebo 1,5 hod při 165°C	28000	0.0005
EPO-TEK E3035T-2	jednosložkové	100°C	1 hod při 180°C	120000	0.0005

EPO-TEK E3037	jednosložkové	90°C	1 hod při 150°C	26000	0.0005
EPO-TEK E3037-LV	jednosložkové	90°C	1 hod při 150°C	17500	0.0005
EPO-TEK ED1020	jednosložkové	46°C	1 hod při 150°C	28000	0.0004
EPO-TEK ED1021	jednosložkové	48°C	1 hod při 125°C nebo 30 min při 150°C	37000	0.0002
EPO-TEK EE149-6	jednosložkové	130°C	1 hod při 180°C	4000	0.0005
EPO-TEK EK1000	jednosložkové	80°C	30 min při 200°C	3600	0.00009
EPO-TEK EK1000-1MP	jednosložkové	103°C	1 hod při 200°C	17000	0.00007
EPO-TEK EM127	jednosložkové	65°C	30 min při 160°C nebo 1 hod při 150°C	3000	0.0009
EPO-TEK H20E-D	jednosložkové	80°C	45 sek při 175°C nebo 5 min při 150°C nebo 15 min při 120°C	1900	0.0004
EPO-TEK H20S-D	jednosložkové	70°C	45 sek při 175°C nebo 5 min při 150°C nebo 15 min při 120°C	1340	0,00014

2.1.2 Dvousložková vodivá lepidla

Společnost Epoxy Technology nabízí celou řadu jednosložkových lepidel. Tab. 2-II obsahuje patnáct nejprodávanějších typů dvousložkových lepidel.

Tab. 2-II Dvousložková elektricky vodivá lepidla společnosti Epoxy Technology [8]

Název produktu	Typ lepidla	Poměr složek A:B (váhově)	Teplota skleného přechodu T _g	Doba vytvrzení [mPa·s]	Viskozita [mPa·s]	Rezistivita [Ω·cm]
EPO-TEK 377H	dvousložkové	1:1	95°C	1 hod při 150°C	1000	-
EPO-TEK 430	dvousložkové	100:2.5	110°C	30 min při 80°C nebo 1 hod při 60°C	300000	0.005
EPO-TEK E2001	dvousložkové	100:3	90°C	45 sek při 170°C nebo 5 min při 160°C nebo 15 min při 150°C	4100	0.0005
EPO-TEK E2001-HV	dvousložkové	100:3	100°C	2 min při 180°C nebo 15 min při 150°C	14000	0.0005
EPO-TEK E2036	dvousložkové	3:1	30°C	30 min při 150°C nebo 1 hod při 125°C	20000	0.0003
EPO-TEK E4110	dvousložkové	10:1	40°C	15 min při 150°C nebo 1 hod při 100°C nebo 3 hod při 80°C	1600	0.0005
EPO-TEK E4110-LV	dvousložkové	10:1	40°C	1 hod při 150°C	850	0.007

EPO-TEK E4110- PFC	dvouslo žkové	3:1	40°C	1 hod při 120°C nebo 3 hod při 80°C nebo 6 hod při 45°C	60000	0.005
EPO-TEK EE165-3	dvouslo žkové	100:2.5	20°C	1 hod při 150°C nebo 2 hod při 125°C	18000	0.0002
EPO-TEK EJ2189	dvouslo žkové	10:1	30°C	15 min při 150°C nebo 1 hod při 100°C nebo 3 hod při 80°C	90000	0.009
EPO-TEK EJ2189- LV	dvouslo žkové	10:1	40°C	15 min při 150°C nebo 1 hod při 100°C nebo 3 hod při 80°C	45000	0.009
EPO-TEK H20E	dvouslo žkové	1:1	80°C	45 sek při 175°C nebo 5 min při 150°C nebo 15 min při 120°C	32000	0.0004
EPO-TEK H20E-HC	dvouslo žkové	1:1	-	30 min při 175°C	6000	0.00008
EPO-TEK H20S	dvouslo žkové	1:1	80°C	45 sek při 175°C nebo 5 min při 150°C nebo 15 min při 120°C	2800	0.0005
EPO-TEK H81A	dvouslo žkové	6:1	100°C	1 hod při 150°C	300000	0.0009

2.2 Amepox Microelectronics Ltd.

Amepox Microelectronics byla založena v roce 1991. Specializuje se na výrobu speciálních materiálů (vodivých lepidel) pro elektronický a mikroelektronický průmysl. Společnost se nachází v Polsku ve městě Lodži. Výrobní program společnosti zahrnuje několik skupin spojovacích vodivých druhů materiálů: [9]

- Electon
- Elpox
- Tehrmopox
- Fluxopox
- Eco-Solder

Electon je označení pro flexibilní pasty, které jsou elektricky vodivé a flexibilní po polymeraci. Používají se při výrobě plošných spojů. Materiálová skupina elektricky vodivých lepidel s názvem Elpox, je využívána v průmyslových odvětvích jako je optoelektronika, elektronika a mikroelektronika. Elektricky vodivé polymerové pasty

Eco- Solder, jsou pasty, které nahrazují Sn/Pb pájecí pasty. Jsou kompletně bezpečné pro pracovníky, výrobce i pro životní prostředí. [9]

Tab. 2-III Elektricky vodivá lepidla společnosti Amepox Microelectronics Ltd. [9]

Název produktu	Typ lepidla	Poměr složek A:B (váhově)	Plnění stříbra	Teplota skelného přechodu T _g	Rezistivita po vytvrzení[Ω·cm]	Maximální provozní teplota
ELPOX 656 S	dvousložkové	10:0.5	(70±1)%	105°C	0.0001-0.002 (vytvrzení v peci) 0.00007-0.0001 (vytvrzení v tunelu)	-
ELPOX AX 12EV	dvousložkové	3:2	(60±1)%	88°C	0.0004-0.0006	-
ELPOX AX 12LVT	dvousložkové	1:1	(55±1)%	95°C	0.00015-0.00025	-
ELPOX AX 15S	dvousložkové	1 : 1	(60±1)%	78°C	0.001-0.0012 (24hod při 20°C) 0.0008-0.0009 (120min při 60°C) 0.00017-0.00018(15min při 150°C)	-
ELPOX ER55MN	jednosložkové	-	(70±1)%	-	$(4.0-7.5) \times 10^{-5}$	280°C po dobu několika hodin
ELPOX ER63MN	jednosložkové	-	(63±1)%	-	$(5.0-6.5) \times 10^{-5}$	250°C po dobu několika sekund
ELPOX SC 24D	jednosložkové	-	(75±1)%	95°C	0.0002-0.0005	-
ELPOX SC65MN	jednosložkové	-	(70±1)%	-	$(4.0-5.5) \times 10^{-4}$	250°C po dobu několika sekund
ELPOX SC70MN	jednosložkové	-	(70±1)%	-	$(1.0-2.5) \times 10^{-4}$	300°C po dobu několika minut
ELPOX SC515	jednosložkové	-	(70±1)%	90°C	0.0006-0.003	-

2.3 Henkel

Společnost Henkel, založena v roce 1876 zaujímá se svými celosvětově známými značkami přední tržní pozice v oblasti spotřebního zboží a také zboží pro průmyslové

aplikace. Sídli v Düsseldorfu v Německu. Patří mezi německé společnosti s největší mezinárodní působností. Po celém světě má přibližně 47 tisíc zaměstnanců. Společnost nabízí své přední značky organizované ve třech hlavních oblastech: prací a čisticí prostředky, péče o krásu, lepidla a technologie.[10]

V oblasti lepidel a technologií je společnost Henkel celosvětovým dodavatelem lepidel. Nabízí opravdu širokou škálu lepidel v oblasti elektrotechniky. Tyto lepidla lze klasifikovat do tří kategorií: [10]

- Izotropní vodivá lepidla
- Anizotropní vodivá lepidla
- Nevodivá lepidla

2.3.1 Izotropní vodivá lepidla

Společnost Henkel nabízí šestnáct typů izotropních vodivých lepidel pro aplikaci v elektrotechnice.

Tab. 2-IV Izotropní vodivá lepidla společnosti Henkel [10]

Název produktu	Způsob vytvrzení	Doba vytvrzení	Viskozita [mPa·s]	Rezistivita [Ω ·cm]	Doba zpracovatelnosti
ALBESTIL ABLEBOND 2000	Teplem	15 min při 175°C	9000	0,0005	24 hod při 25°C
ABLESTIK ABLEBOND 84- 1LMI	Teplem	1 hod při 150°C nebo 2 hod při 125°C	30000	0,0005	2 týdny při 25°C
ABLESTIK ABLEBOND 84- 1LMISR4	Teplem	1 hod při 175°C	8000	0,0001	-
ABLESTIK ICP- 3535M1	Teplem	1 hod při 150°C nebo 10 min při 175°C	80000	0,004	-
ABLESTIK ICP- 4001	Teplem	35 min při 140°C	40000	0,0004	24 hodin při 25°C
ACHESON ELECTRODAG 5915	Teplem	15 min při 130°C nebo 10 min při 175°C	120000	0,0005	-
HYSOL ECCOBOND 56C Catalyst 9-Fst	Teplem	2 hod při 50°C	-	0,0004	<1 hodina při 25°C
HYSOL ECCOBOND 56C Catalyst 11-Fst	Teplem	1 hod při 120°C	-	0,0002	<1 hodina při 25°C
HYSOL ECCOBOND CA3150	Teplem	10 sek při 130°C	13000	<0,01	2 dny při 24°C

HYSOL ECCOBOND Ce3103WLV	Teplem	10 min při 120°C nebo 3 min při 150°C	15000- 25000	0,0008	3 dny při 25°C
HYSOL ECCOBOND CE3520-3	Teplem	60 min při 120°C nebo 30 min při 150°C	75000	0,02	3 dny při 18 až 25°C
HYSOL ECCOBONDCE380 4 A/B	Teplem	90 min při 150°C	7000	$6,4 \cdot 10^{14}$	-
HYSOL ECCOBOND CE3920	Teplem	5 min při 150°C	26000	0,00033	-
HYSOL ECCOBOND CE8500	Teplem	90 min při 120°C nebo 40 min při 150°C nebo 15 min při 175°C	120000- 140000	0,0002	-
HYSOL QMI5161E	Teplem	60 sek při 90°C nebo 90 min při 60°C	15900	0,0015	6 hodin při 25°C
HYSOL QMI529HT	Teplem	60 sek při 185°C nebo 30 min při 185°C	18500	0.00004	24 hodin při 25°C

2.3.2 Anizotropní vodivá lepidla

Společnost Henkel nabízí jedno anizotropní lepidlo pro aplikaci v elektrotechnice.

Tab. 2-V Anizotropní lepidla společnosti Henkel [10]

Název produktu	Způsob vytvrzení	Doba vytvrzení	Viskozita [mPa·s]	Rezistivita [$\Omega \cdot \text{cm}$]	Doba zpracovatelnosti
HYSOL CE3126	Teplem	8 sek při 170°C	16300	Anizotropní	2 dny

2.3.3 Nevodivá lepidla

Společnost Henkel nabízí devět nevodivých lepidel pro aplikaci v elektrotechnice.

Tab. 2-VI Nevodivá lepidla společnosti Henkel [10]

Název produktu	Způsob vytvrzení	Doba vytvrzení	Viskozita [mPa·s]	Doba zpracovatelnosti
ABLESTIK ABLEBOND 202DSi	Teplem	15 min při 175°C	11500	24 hod při 25°C
ABLESTIK ABLEBOND 84-4	Teplem	1 hod při 150°C	50000	2 týdny při 25°C
ABLESTIK ABLEBOND 8700K	Teplem	1 hod při 175°C	45000	30 dní při 25°C
HYSOL ECCOBOND 104 A/B	Teplem	1 hod při 200°C	25000	-
HYSOL ECCOBOND G500	Teplem	5 min při 175°C	Pasta	-
HYSOL ECCOBOND G757HF-D	Teplem	45 min při 140°C nebo 20 min při 160°C nebo 10 min při 180°C	Pasta	1 měsíc při 25°C
HYSOL XA80215-1	Teplem	<30 sec při 110°C	23000	24 hod při 25°C
HYSOL QMI1536NB	Teplem	30 min při 150°C	10000	12 hod při 25°C
HYSOL TRA-BOND 2151	Teplem	45 min při 140°C nebo 20 min při 160°C nebo 10 min při 180°C	Pasta	1 týden

2.4 Panacol

Panacol je německá dceřiná společnost švýcarské firmy Panacol AG. Panacol je mezinárodní dodavatel na trhu průmyslových lepidel. Dodává celou řadu speciálních lepidel pro použití v mnoha oblastech: univerzální konstrukční lepidla, vysokoteplotní lepidla, tmely pro extrémní pevnosti různých materiálů, lepidla vytvrzovaná UV světlem, elektricky a tepelně vodivá lepidla. [11]

Elecolit je název řady elektrických a tepelně vodivých lepidel. Jedná se syntetické pryskyřice plněné kovovými nebo anorganickými výplňovými materiály. Společnost vyrábí lepidla několika kategorií: [11]

- Tepelně vodivá lepidla
- Izotropní vodivá lepidla
- Anizotropní vodivá lepidla

2.4.1 Tepelně vodivá lepidla

Společnost Panacol nabízí pět typů tepelně vodivých lepidel pro aplikaci v elektrotechnice.

Tab. 2-VII Tepelně vodivá lepidla společnosti Panacol [11]

Název produktu	Typické použití	Základ	Viskozita [mPa.s]	Tvrdnutí	Teplotní odolnost [°C]
Elecolit 6601	Chladiče, čidla	1komponentní epoxid	12000-20000	20 min při 150°C	-40 až +200
Elecolit 6603	Lepení magnetů, chladičů	1komponentní epoxid	95000-115000	20 min při 150°C	-40 až +200
Elecolit 6604	Senzory pro měřicí přístroje	1komponentní epoxid	11000-140000	10 min při 150°C	-40 až +200
Elecolit 6616	Tmel pro tvrdnutí při pokojové teplotě	2komponentní epoxid	Viskózní	2 h při 80°C	-50 až +150
Elecolit 6207	Kapsle a tmel	2komponentní epoxid	9000-120000	2 h při 65°C	-55 až +110

2.4.2 Izotropní vodivá lepidla

Společnost Panacol nabízí třináct izotropně vodivých lepidel pro aplikaci v elektrotechnice.

Tab. 2-VIII Izotropní lepidla společnosti Panacol [11]

Název produktu	Typické použití	Základ	Viskozita [mPa.s]	Tvrdnutí	Teplotní odolnost [°C]
Elecolit 3024	Tepelně citlivé komponenty	2komponentní epoxid	2800	15 min při 120°C	-40 až +150
Elecolit 3012	Čipy, elektronické součástky	1komponentní epoxid	Viskózní	10 min při 150°C	-40 až +200
Elecolit 3043	Tištěné antény, keramické pojistky	1komponentní epoxid	4000-5000	10 min při 150°C	-40 až +180
Elecolit 3653	Lepení ohebných součástí	1komponentní epoxid	8000-10000	5 min při 150°C	-40 až +180
Elecolit 3655	Tlakové spojení, polovodiče	1komponentní epoxid	15000-45000	30 min při 150°C 60min při 120°C	-40 až +180
Elecolit 3025	Vhodné na tepelně citlivé části	2komponentní epoxid	Pastovitá	24 hod při pokojové teplotě, 15 min při 120°C	-40 až +150
Elecolit 3036	Vhodné na tepelně citlivé části	2komponentní epoxid	Pastovitá	24 hod při pokojové teplotě, 15 min při 120°C	-40 až +150
Elecolit 323	Lepení součástí/elektronika	2komponentní epoxid	45000	4 min při 150°C	-60 až +175
Elecolit 325	Na teplo citlivé součásti	2komponentní epoxid	Viskózní	5 min při 150°C	-40 až +150
Elecolit 336	Na teplo citlivé součásti	2komponentní epoxid	Viskózní	5 min při 150°C	-40 až +150

Elecolit 327	Rozsah do vyšších teplot	1komponentní epoxid	8500	1 h při 150°C	-40 až +275
Elecolit 342	Elektricky vodivé kontakty, HF stínění	1komponentní epoxid	1000-2000	10 min při 120°C	-40 až +150
Elecolit 414	Flexibilní vodivé při velmi tenké vrstvě	1komponentní epoxid	20000-25000	5 min při 150°C	-55 až +200

2.4.3 Anizotropní vodivá lepidla

Společnost Panacol nabízí tři anizotropní vodivá lepidla pro aplikaci v elektrotechnice.

Tab. 2-IX Anizotropní vodivá lepidla společnosti Panacol [11]

Název produktu	Typické použití	Základ	Viskozita [mPa.s]	Tvrdnutí	Teplotní odolnost [°C]
Elecolit 3061	LCD, pružné obvody	1komponentní epoxid	35000-45000	10 sec při 150°C	-40 až +180
Elecolit 3063	Pružné obvody	1komponentní UV akrylát	Tixotropní	1 min při 200°C mW/cm ² + 40N	-40 až +150
Elecolit 3064	Pružné obvody	1komponentní UV akrylát	Tixotropní	1 min při 200°C mW/cm ² + 40N	-40 až +150

2.5 Permacol

Společnost Permacol byla založena v roce 1974 v Holandsku. Permacol nabízí širokou škálu lepidel pro použití v elektrotechnice i v jiných průmyslových odvětvích. Vyrábí jedno nebo dvousložková lepidla, které jsou použitelné všude tam kde je elektricky vodivé lepení žádoucí jako například pro nahrazení pájecích past v montáži SMD součástek.[12]

Tab. 2-X Elektricky vodivá lepidla společnosti Permacol [12]

Název produktu	Základ lepidla	Doba vytvrzení	Rezistivita [Ω .cm]	Viskozita [mPa.s při 23°C]	Poměr složek A:B (váhově)	Doba zpracovatelnosti
1815/2	Uretanakryl	3 hodiny při 125°C	10×10^{-4}	4000	-	-
8845/03	Akryl	20 minut při 125°C	3×10^{-4}	7000	-	-
Permacol 1828 A/B	Epoxid	10 minut při 125°C	5×10^{-4}	200	10:5	1 hodina při 20°C
Permacol 2369/02	Epoxid	10 minut při 125°C	3×10^{-4}	30000	-	-
Permacol 2369/10	Epoxid	10 minut při 125°C	3×10^{-4}	90000	-	-
Permacol 2505	Epoxid	6 minut při 125°C	-	100000	-	-
Permacol 2510 A/B	Epoxid	6 minut při 125°C	-	0.1	1:1	45 minut při 20°C
Permacol 2520 A/B	Epoxid	6 minut při 125°C	-	2.5	10:3	30 minut při 20°C

Permacol 2805 A/B	Epoxid	48 hodin při 20°C	3×10^{-4}	60000	10:4	2 hodiny při 20°C
Permacol 2810 A/B	Epoxid	48 hodin při 20°C	5×10^{-4}	20000	1:1	2 hodiny při 20°C
Permacol 2855 A/B ESD	Epoxid	48 hodin při 20°C	1000×10^{-4}	80000	1:1	2 hodiny při 20°C
Permacol 2860 A/B	Epoxid	48 hodin při 20°C	5×10^{-4}	20000	10:5	1 hodina při 20°C

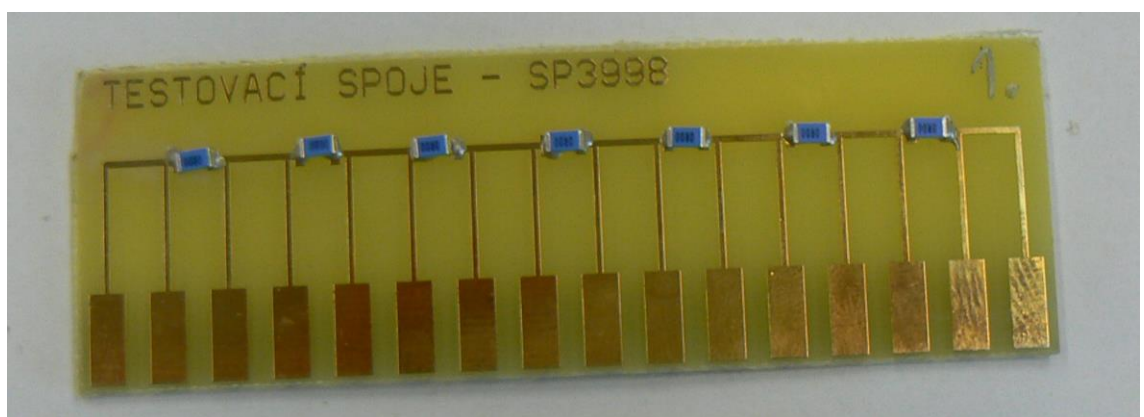
3 Experiment

Cílem tohoto experimentu bylo ověřit mechanické vlastnosti lepeného spoje. Bylo vybráno dohromady šest testovacích vzorků, na které se nanoslo elektricky vodivé lepidlo metodou dispensingu. Jako testovací součástky byly použity SMD rezistory. Testovací vzorky byly rozděleny do tří skupin po dvou a následně vytvrzovány různými teplotami po určitý čas, podle daných vlastností vodivého lepidla uvedených výrobcem. Tři testovací vzorky byly dále podrobeny zkoušce mechanické pevnosti a zbylé tři vzorky byly použity na metalografické výbrusy a k analyzování struktury lepeného spoje. V následujících kapitolách je provedený experiment popsán detailně.

3.1 Testovací vzorky

K experimentu byly vybrány dva typy vzorků. Všechny testované vzorky byly vytvořeny z desek plošných spojů. Základní substrát byl tvořen materiálem FR4, což je kompozitní materiál ze skelné tkaniny a epoxidové pryskyřice o tloušťce 1,5 mm s 35 μm CU fólií.

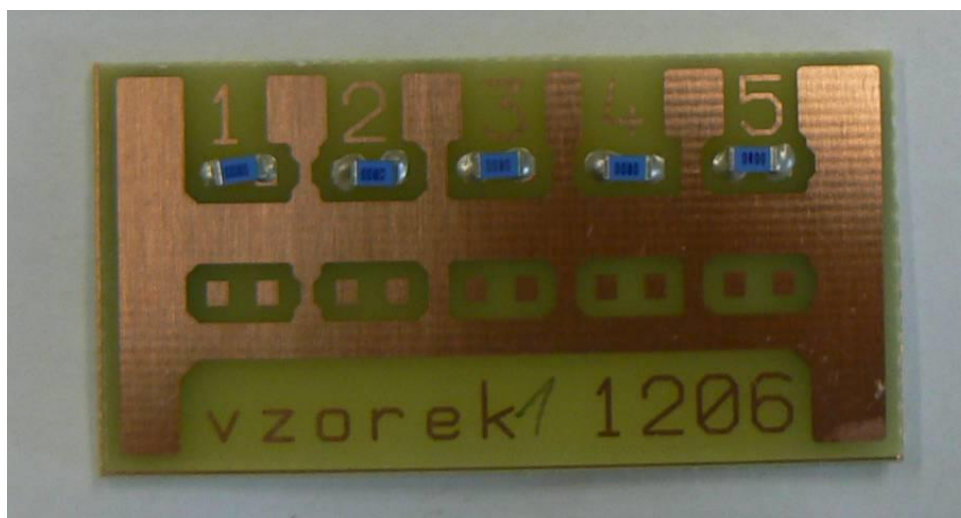
První typ vzorku byl použit pro analyzování struktury lepeného spoje a metalografické výbrusy. Byly vyrobeny celkem tři desky. Jedná se o desky plošného spoje, které mají rozměry 80 x 25 mm. Mají na jedné straně motiv pro připojení sedmy povrchově montovaných součástek. Na *Obr. 3.1* je vyfocen jeden z testovaných vzorků.



Obr. 3.1: Testovací vzorek- SP3998 po nanesení lepidla a osazení SMD rezistory

Druhý typ vzorků byl použit pro měření mechanické pevnosti spojů. Byly vyrobeny celkem tři desky. Jedná se o desky plošného spoje o rozměrech 50 mm x 25 mm, které mají

vytvořený na jedné straně motiv pro připojení deseti povrchově montovaných součástek typu pouzdra 1206. Na *Obr. 3.2* je vyfocen jeden z testovaných vzorků.



Obr. 3.2: Testovací vzorek- 1206 po nanesení lepidla a osazení SMD rezistory

3.2 Nanesení elektricky vodivého lepidla a jeho vytvrzení

Na oba dva typy testovaných vzorků bylo nanášeno elektricky vodivé dvousložkové lepidlo EPO-TEK H20S dispensingem (z jehly). Jednotlivé složky lepidla byly namíchaný v poměru 1:1, který udává výrobce. Jako testovací součástka byl použit SMD rezistor 0R00. Následně byly testovací vzorky dvou typů, kde od každého typu bylo k dispozici po třech vzorkách, rozděleny do skupin. V každé skupině po jednom od každého typu vzorku a tak tedy vznikly tři skupiny po dvou vzorkách. Každá ze skupin se vytvrzovala v peci po určitý čas a teplotu, podle daných hodnot od výrobce. V *Tab. 3-I* přehled doby vytvrzení při dané teplotě.

Tab. 3-I Doba vytvrzení vodivého lepidla EPO-TEK H20S

Skupina	Teplota	Doba vytvrzování
1.	175°C	45 sekund
2.	150°C	5 minut
3.	120°C	15 minut

3.3 Měření mechanické pevnosti

Na mechanickou pevnost lepeného spoje má vliv mnoho různých faktorů jako např.: druh použitého lepidla, jeho vlastnosti, doba vytvrzování, nebo výskyt dutin a prasklin ve struktuře lepeného spoje. Měření mechanické pevnosti lepeného spoje bylo provedeno na trhacím zařízení Labor Tech. Na *Obr. 3.3*, je vyfocen jeden z testovaných vzorků na trhacím zařízení.

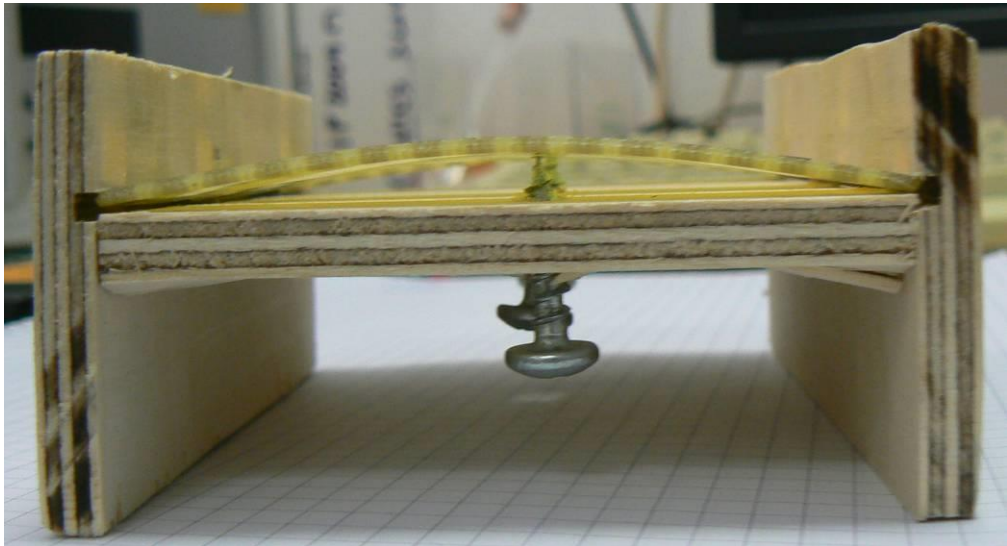
K zjištění mechanické pevnosti byly použity testovací vzorky 1206. Měření spočívá v působení trhacího zařízení silou na přilepený SMD rezistor a to do té doby, než dojde k porušení spoje. Následkem je utržení SMD rezistoru. Výsledek u pevnosti lepeného spoje znázorňuje hodnota maximální síly, která se zaznamenává při utržení součástky.



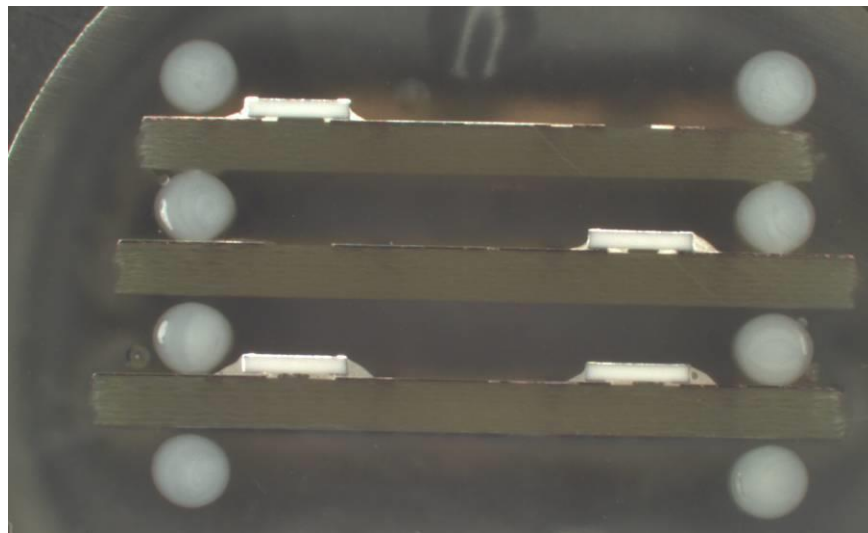
Obr. 3.3: Trhací zařízení Labor Tech

3.4 Metalografické výbrusy a analyzování struktury lepených spojů

Testovací vzorky SP3998 byly před analyzováním vystaveny na deset dní statickému zatížení do vyrobeného přípravku, který je na Obr. 3.4. Pro analyzování struktury lepeného spoje byly vzorky nejprve zalité pryskyřicí, aby se za použití brusky vytvořili metalografické výbrusy. Během výbrusu se postupně používali brusné papíry s hrubostí 80 až 2500. Po vybroušení byly vzorky analyzovány na mikroskopickém pracovišti s mikroskopem Olympus SZX10. Obr. 3.5 ukazuje celkový pohled na všechny tři testovací vzorky po výbrusu.



Obr. 3.4: Přípravek na statické zatížení testovacích vzorků



Obr. 3.5: Celkový mikroskopický pohled na testovací vzorky

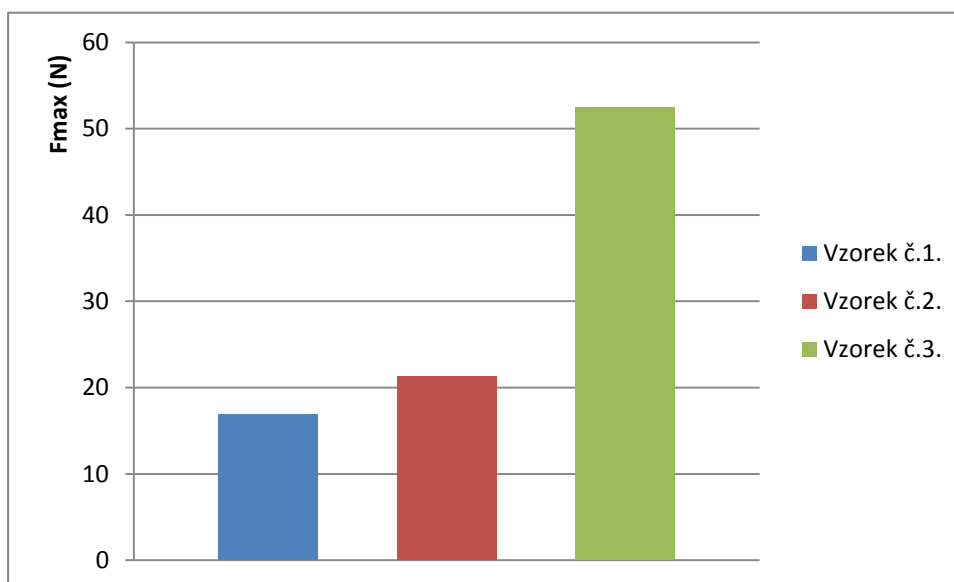
3.5 Naměřené hodnoty a výsledky

V následujících podkapitolách se zaměříme na naměřené hodnoty a výsledky. Výsledky mechanické pevnosti porovnáme se spoji pájenými. Výsledky z metalografických výbrusů si analyzujeme pomocí fotografií z mikroskopu Olympus SX10.

3.5.1 Výsledky měření mechanické pevnosti lepeného spoje

Měření mechanické pevnosti lepených spojů s SMD rezistory 0R00 bylo provedeno na trhacím zařízení Labor Tech, viz kapitola 3.3. Testovaly se tři vzorky. Pro každý testovaný vzorek bylo naměřeno pět hodnot maximální síly, která se zaznamenává při odtržení

součástky. Z těchto hodnot se vytvořil aritmetický průměr a výsledky se vynesly do grafu na Obr 3.6. Každý ze vzorků, byl vytvrzován jiným teplotním profilem. Vzorek č. 1 byl vytvrzován po dobu 45 sekund při 175°C. Vzorek č. 2 po dobu 5 minut při 150°C. Vzorek č. 3 po dobu 15 minut při 120°C. Nejvyšší pevnosti lepeného spoje s hodnotou maximální síly F_{\max} 52,4N dosahuje vzorek č. 3, na opak nejnižší pevnost s F_{\max} 16,89N měl vzorek č. 1. Na konečné výsledky může mít vliv i například způsob nanášení lepidla, kdy pokaždé nemuselo být naneseno stejné množství, což může mít následek např. při nanesení menšího množství horší mechanickou pevnost a odtrhnutí součástky za působení menší síly. Výsledky mechanické pevnosti lepených spojů byly pro srovnání porovnány se spoji pájenými. Pro srovnání byly vybrány tři stejné typy testovacích vzorků s typem pouzdra 1206. U všech tří vzorků byla použita pájecí pasta SnPb, avšak jiná povrchová úprava. Jako první vzorek pájeného spoje byl použit vzorek s povrchovou úpravou čistá měď, jehož hodnota maximální síly dosáhla 75N. Druhý vzorek byl s povrchovou úpravou galvanický cín, jehož hodnota maximální síly dosáhla 60,22N. Třetí vzorek byl s povrchovou úpravou imerzní cín, jehož hodnota maximální síly dosáhla 59,8N. Z těchto hodnot je zřejmé, že mechanická pevnost lepených spojů zdaleka nedosahuje kvality spojů pájených. Výsledky pájených spojů byly převzaty z [18].

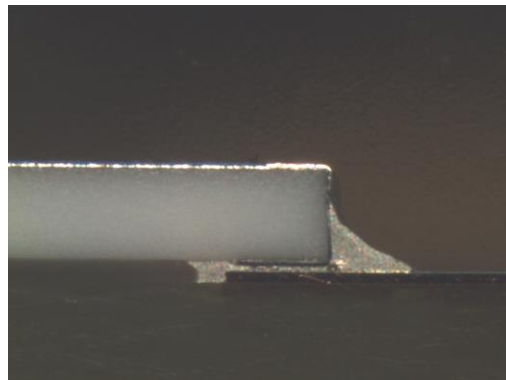


Obr 3.6: Hodnoty maximální síly lepených spojů

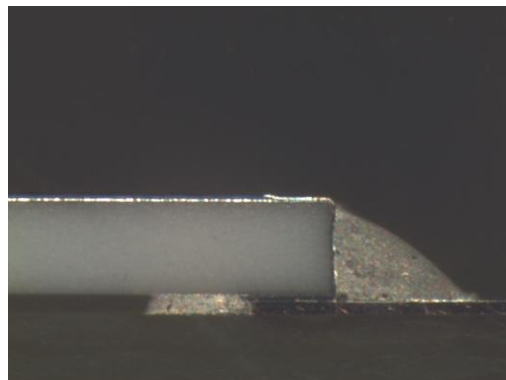
3.5.2 Výsledky analyzování struktury lepeného spoje

Tři testované vzorky SP3998 byly po metalografickém výbrusu podrobeny analýze struktury lepeného spoje, abychom zjistili homogenitu spojů vytvořených pomocí ECA.

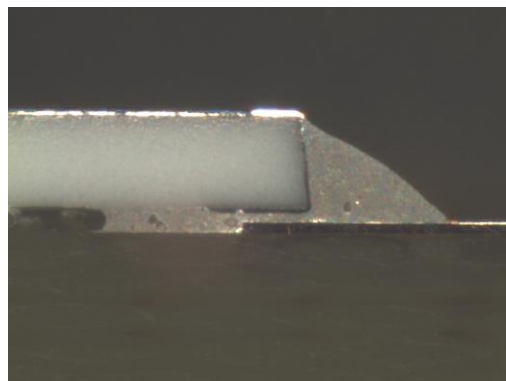
Jelikož bylo v experimentu použito dvousložkové lepidlo, zvýšilo se riziko vnesení vzduchových bublin např. při míchání obou složek nebo při nanášení dispnzery a tím během přípravy nebo vytvrzování může dojít ke vzniku nehomogenit uvnitř spoje. Každý z třech testovaných vzorků byl opět vytvrzován při jiné teplotě. Různé teploty vytvrzení mají vliv na vnitřní strukturu spoje. Spoje vytvrzené delší dobu obsahují výrazně méně nehomogenit ve vnitřní struktuře spoje. Výsledku bylo dosaženo analyzováním fotografií jednotlivých vzorků. Na *Obr. 3.7* vzorek č. 1, na *Obr. 3.8* vzorek č. 2 a na *Obr. 3.9* vzorek č. 3.



Obr. 3.7: Vzorek č. 1 - Doba vytvrzení 45 sek



Obr. 3.8: Vzorek č. 2 - Doba vytvrzení 5 min



Obr. 3.9: Vzorek č. 3 - Doba vytvrzení 15 min

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s problematikou vodivého lepení v elektrotechnice, dále vypracovat přehled používaných a dostupných vodivých lepidel na trhu s ohledem na jejich vlastnosti a navrhnout a realizovat experiment pro ověření mechanických vlastností lepeného spoje.

Z měření mechanické pevnosti na trhacím zařízení Labor Tech lze říci, že na lepené spoje má značný vliv teplotní profil při vytvrzování. Doby vytvrzování jednotlivých vzorků jsou uvedeny v *Tab. 3-1*. Nejvyšší hodnoty maximální síly tedy dosáhl vzorek č. 3, který byl vytvrzován po dobu 15 minut při 120°C. Nejnižší naopak vzorek č. 1, jenž byl vytvrzován pouze 45 sekund při 175°C. Z tohoto také vyplývá, že nezáleží pouze na vysoké teplotě, ale hlavní je doba vytvrzení. Pouze u jednoho z SMD rezistoru vzorku č. 1 byla hodnota maximální síly vyšší o 9,3 N než u vzorku č. 2, který byl vytvrzován delší dobu a to nejspíše z důvodu nerovnoměrného nanesení vodivého lepidla.

Při analyzování struktury lepeného spoje metodou metalografických výbrusů a za pomoci mikroskopického pracoviště, lze dospět k podobnému závěru jako u měření mechanické pevnosti, jelikož na vznik nehomogenit v lepeném spoji má také velký vliv teplotní profil při vytvrzování. Dalším z faktorů vzniku nehomogenit je proces míchání, plnění a vytvrzování elektricky vodivých lepidel. To se projevuje výraznou pórovitostí a zvýšeným obsahem plynných vměstků. Z *Obr. 3.9* lze analyzovat, že vzorek č. 3, který byl vytvrzován nejdelší dobu 15 minut, obsahuje nejméně nehomogenit. Na vznik nehomogenit můžou mít vliv i samotné vlastnosti lepidla jako matrice lepidla a vodivé složky. Statické namáhání, kterému byly vystaveny všechny tři testované vzorky před metalografickými výbrusy, nezanechalo na lepeném spoji žádné výrazné trhliny a spoj byl funkční i pro provedení elektrického testu.

Elektricky vodivá lepidla jsou jednou ze skupin ekologických materiálů, která jsou do budoucnosti uvažována jako možná náhrada za pájky. Z provedeného experimentu na mechanické vlastnosti lepených spojů je ovšem patrné, že momentálně vodivá lepidla nedosahují takových parametrů jako spoje pájené, a však v některých aplikacích mají vodivá lepidla nesporné výhody jako např. vhodnost pro tepelně citlivé součástky.

Seznam použité literatury

- [1] SZENDIUCH Ivan, Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2006, 379 s. ISBN 80-214-3292-6
- [2] P. Mach, V. Skočil, J. Urbánek. Montáž v elektrotechnice. Praha: ČVUT 2001, 440 s ISBN 80-010-2392-3
- [3] LI, Yi a C.P. WONG. Recent advances of conductive adhesives as lead-free alternative in electronic packaging: Materials, processing and applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports* [online]. 2006, roč. 51, 1-3, s. 1-35 [cit. 2014-04-27]. ISSN 092779 x DOI: 10.1016/j. mser.2006.01.001 Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X06000131>
- [4] SZENDIUCH, Ivan. Propojování v elektronice- elektrické spoje a jejich realizace. VUT Brno: Ústav Mikroelektroniky [online]. 2012 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-06A-Propojov%C3%A1n%C3%AD%20v%20elektronice%20-%20elektrick%C3%A9%20spoje\(Bc\).pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-06A-Propojov%C3%A1n%C3%AD%20v%20elektronice%20-%20elektrick%C3%A9%20spoje(Bc).pdf)
- [5] SZENDIUCH, Ivan. Propojování v elektronice – elektrické spoje. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/08a_propojovani_v_elektronice.pdf
- [6] ŽÁK, Pavel. Spolehlivost rizika bezolovnatých druhů montáže. Praha, 2012. Disertační práce. ČVUT.
- [7] SZENDIUCH, Ivan. Mikroelektronické montážní systémy. 1997. vyd. Brno: Vutium, 1997. ISBN 80-214-0901-0.
- [8] MACH, Pavel a Aleš DURAJ. Ahesive Joining or Lead- free Soldering?. *Informacije MIDEM*. 2005, vol. 35, isme 4, s. 228-235. Dostupné z: [http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM_35\(2005\)4p228.pdf](http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM_35(2005)4p228.pdf)
- [9] LU, Daoqiang a C. P. WONG. Effects of shrinkage on conductivity of isotropic conductive adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 2000, roč. 20, č. 3, s. 189-193 [cit. 2014-05-18]. ISSN 01437496. DOI: 10.1016/S0143-7496(99)00039-1. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749699000391>

- [10] SANCAKTAR, Erol a Lan BAI. Electrically Conductive Epoxy Adhesives. *Polymers* [online]. 2011, vol. 3, issue 4, s.427-466 [cit. 2014-05-18]. DOI: 10.3390/polym3010427. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2073-4360/3/1/427>
- [11] MORRIS, James E. a Jonan LIU. Electrically Conductive Adhesives: A Research Status Review. LEE, Yung-Cheng a Ephraim WONG. *Micro- and opto-electronic materials and structures: physic, mechanics, design, reliability, packaging*. New York: Springer, 2007, s. 527-570. ISBN 9780387279749
- [12] Y. C. LIN, Jue ZHONG. A review of the influencing factors on anisotropic conductive adhesives joining technology in electrical applications. *Journal of Materials Science* [online]. 2008, DOI 10.1007/s10853-007-2320-4. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10853-007-2320-4/fulltext.html>
- [13] Epoxy technology. [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.epotek.com/site/>
- [14] Amepox. [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.amepox-mc.com/>
- [15] Henkel. [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.henkel.cz/>
- [16] Panacol. [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.panacol.de/>
- [17] Permacol. [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.permacol.nl>
- [18] Novák, Tomáš. *Intermetalické sloučeniny v bezolovnatém pájeném spoji*. V Plzni, 2012. Disertační práce (Ph.D). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta