

Vliv teploty a času na pevnost lepených spojů kov - plast

Temperature influence and time on fort bonded connections
metal - plastic

Tomáš Hrubý



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš HRUBÝ**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Vliv teploty a času na pevnost lepených spojů kov – plast**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární studii týkající se lepených spojů se zaměřením na plošné spoje.
2. Nastudujte metody stanovení pevnosti lepených spojů.
3. Na základě zjištěných poznatků provedte experimentální měření pevnosti spojů kov-plast.
4. Dosažené výsledky v závěru práce zhodnoťte.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] Kovačič, L.: Lepenie kovov a plastov, SNTL Praha, ALFA Bratislava, 1980

[2] Peterka, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, SNTL Praha, 1980

[3] Lidařík, M., Kincl, J. a kol.: Epoxydové pryskyřice, SNTL Praha, SVTL Bratislava, 1961

[4] Langmaier, F.: Adhese a adhesiva, Ediční středisko FT VUT, 1999

[5] Kašpar, Z., Müller, M., Hrabě, P.: Pevnost lepených spojů - vliv způsobu chemického čištění, Tématický magazín, Svařování - dělení - spojování materiálů, TM vydavatelství Praha, 5-6/2005

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Dagmar Janáčová, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2007

Ve Zlíně dne 13. února 2007



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

ke ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku lepeného spoje plast – kov. Lepení kovu s plastem se využívá při výrobě desek s plošnými spoji. Zde se lepí měděná fólie na desku z epoxydové pryskyřice. Po určité době se deska s plošnými spoji stává nepotřebnou a je třeba ji recyklovat. V první části práce je provedena literární studie tykající se lepených spojů a technologie výroby desek s plošnými spoji.

V experimentální části byla odzkoušena separace měděné fólie od desky teplotním šokem přičemž se využívá rozdílné teplotní roztažnosti kovu a plastu.

Klíčová slova: kov, plast, lepený spoj, deska s plošnými spoji, měď, epoxydová pryskyřice, recyklace, separace, teplotní roztažnost

ABSTRACT

The bachelor gen work is focused on the issues with a plastic - metal bonded joint. Bonding of metal with plastic is used in production of boards with printed circuits. Here we bond the copper foil onto a board made of epoxy resin. After a certain period of time, the board with printed circuits becomes useless and it needs to be recycled. The first part of the work contains a literary study regarding the bonded joints and printed circuit board production technology.

The separation of copper foil from the board through a temperature shock is tested in the experimental part, while what is used is the various temperature expandability of metal and plastic.

Keywords: metal, plastic, bonded joint, printed circuit board, copper, epoxy resin, recycling, separation, coefficient of linear thermal expansion

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Dagmar Janáčové, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytovala v celém průběhu vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne 25. května 2007

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 LEPENÍ	13
1.1 HISTORIE LEPENÍ	13
1.2 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ	14
1.3 TEORIE LEPENÍ	15
1.3.1 Molekulová teorie	15
1.3.2 Elektrostatická teorie.....	15
1.3.3 Mechanická teorie	16
1.3.4 Difuzní teorie	16
1.3.5 Chemická teorie	16
1.4 TECHNOLOGIE LEPENÍ	16
1.4.1 Příprava spojovaného materiálu.....	16
1.4.2 Příprava lepidla	16
1.4.3 Nanášení lepidla.....	17
1.4.4 Montáž spoje	17
1.5 ROZDĚLENÍ LEPIDEL	17
2 VÝROBA DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI	19
2.1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI.....	19
2.1.1 Normy NEMA (American National Electrical Manufactures Association).....	19
2.1.2 Organické základní materiály	19
2.1.3 Neohébné materiály	20
2.1.4 Výztuž	20
2.1.4.1 Výztuž ze skleněného vlákna.....	20
2.1.4.2 Výztuž z papíru	20
2.1.5 Pojivo	20
2.1.5.1 Reaktoplastové pryskyřice.....	20
2.1.5.2 Termoplasty	21
2.2 VÝROBA DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI	21
2.2.1 Původní plošné spoje.....	21
2.2.2 Tvorba desek	22
3 RECYKLACE DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	25
4 SEPARACE DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI VLIVEM TEPLoty	26
4.1 EXPERIMENT	26
4.1.1 Princip zkoušky	26
4.1.2 Přístroje a zařízení.....	27
4.1.3 Zkušební vzorky, příprava	27
4.1.4 Postup při experimentu	28
4.1.5 Výsledky experimentu a jejich diskuse.....	29

4.2 ZÁVĚR EXPERIMENTU.....	33
ZÁVĚR.....	34
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	35
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	37
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, ZKRATEK A ODBORNÝCH VÝRAZŮ.....	39
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	40
SEZNAM TABULEK.....	41

ÚVOD

Odpady staví naši společnost před problém co s nimi. Jsou dvě možnosti jak tento problém vyřešit. Odpady můžeme odstranit a to většinou takovými způsoby, které mají nevyhnutelný dopad na životní prostředí nebo znovu použít po určité úpravě, vrátit je znovu do oběhu, do cyklu - recyklovat je. Jedním z dnes hodně diskutovaným druhem odpadu je tzv. elektroodpad (elektrozařízení, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které v tom okamžiku jsou součástí zařízení).

Ve většině těchto zařízení se ke spojování materiálů používá těchto spojovacích metod: rozebíratelné, podmíněně rozebíratelné a nerozebíratelné [6]. Jednou z podmíněně rozebíratelných, ale také nerozebíratelných metod je lepení. Lepení se v elektrotechnologii používá pro spojování různých materiálů, mimo jiné plastů s kovem. Tímto způsobem je např. spojena měděná fólie s epoxydovým podkladem při výrobě desek s plošnými spoji.

Je třeba se pokoušet o rozebírání jakýchkoliv spojů a to i lepených a následnou recyklaci, neboť životní prostředí je třeba chránit a udržovat v takovém stavu, aby se nám všem nezhoršily podmínky pro život. Proto se musíme pokoušet o recyklaci všeho co lze recyklovat.

V loňském roce se v ČR prodalo zhruba 100 tisíc tun elektrovýrobnků. Elektroodpadu se nashromáždilo výrazně méně - pouhých 13 tisíc tun. Podle nařízení EU by to mělo být alespoň 40 tisíc tun. Na jednoho občana ČR by tak ročně měly připadnout 4 kilogramy [9]. V současné době je u nás evidováno asi 80 společností zabývajících se zpracováním elektroodpadu [7].

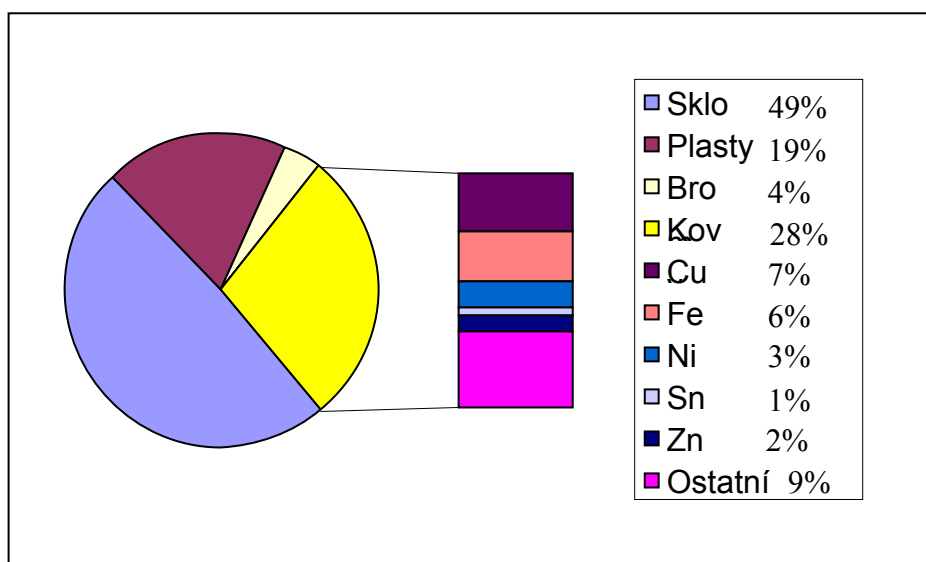
Míra využití elektroodpadu je přesně specifikována v zákoně o odpadech. Podle zákona je nutné zajistit recyklaci 50 – 80 % každého elektrospotřebiče. Konkrétní míra opětovného použití se liší dle druhu jednotlivých elektrospotřebičů.

Podle směrnic Evropského parlamentu a Rady 2002/96/ES z roku 2003 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (dále jen OEEZ) se OEEZ dělí na 10 kategorií, kde jako 3. kat. jsou zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení. Do této kategorie spadá mnoho výrobků. Mimo jiné také osobní počítače, notebooky, tiskárny a další [7].

Počítač má v ČR už 1,5 miliónu domácností, tedy zhruba 36 %, což je dvakrát více než v roce 2003. Znamená to, že se v roce 2008 vyhodí okolo 1 miliónu počítačů a s přibývajícími roky toto číslo poroste [8].

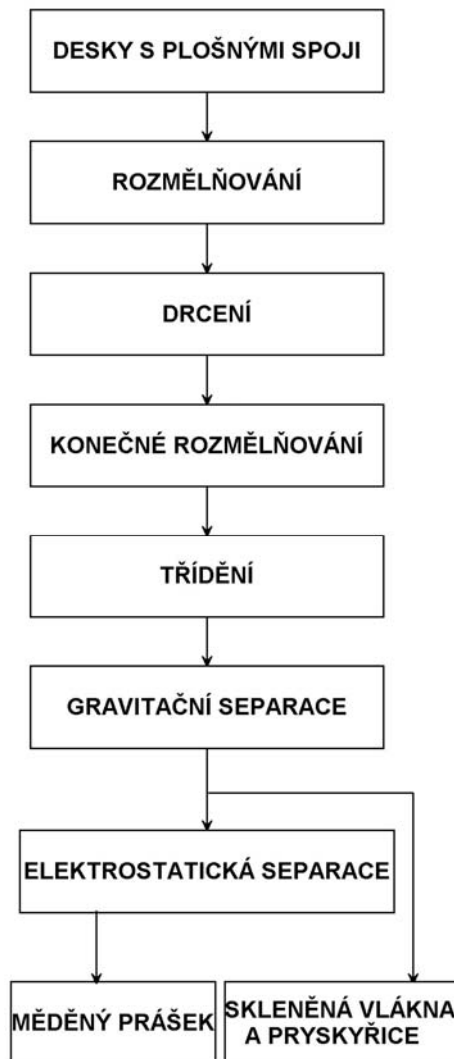
Počítače se vyrábějí již přes 50 let, ale takové počítače jaké je známe dnes se vyrábí od 80. let 20. století. Ty, které jsou v dnešní době vyřazovány jsou 5-8 let staré, to znamená, že byly vyrobeny v rozmezí let 1998-2001 [10]. Nás bude zajímat jedna složka tohoto odpadu a to deska s plošnými spoji.

Recyklace desek s plošnými spoji je náročná a má mnoho kroků. Nejprve je musí někdo vyjmout ze zařízení, ve kterém plnily svoji funkci. Až pak se rozhoduje, zda je výhodné je recyklovat. Pokud ano, probíhá odstranění částí, které obsahují nebezpečné látky (kadmium, rtuť, olovo a kondenzátory s polychlorovanými bifenyly - PCB) a následná demontáž součástek (tento krok není vždy nutný, záleží na způsobu dalšího zpracování). Recyklace samotné desky s plošnými spoji je výhodná pro získání neželezných kovů, kterými většinou jsou hliník, měď a cín. A pro získání ušlechtilých kovů jako zlato, stříbro a platina. Materiálové složení desek s plošnými spoji je uvedeno na obrázku 1 [11].



Obr. 1 Materiály desek plošných spojů

Desky s plošnými spoji se zpracovávají nejčastěji těmito způsoby: mechanicky, metalurgicky a chemickou cestou. Mechanický postup zpracování desek s plošnými spoji je zřejmý na obrázku 2 [6].



Obr. 2 Mechanické zpracování

Pyrometalurgické zpracování desek s plošnými spoji spočívá v tavení upravených desek ve výrobě mědi při teplotě kolem 1200 °C

Toto byly nejznámější postupy při recyklaci desek s plošnými spoji. Další možností, o které mnoho napsáno nebylo, je separace tohoto odpadu teplotním šokem, kde

se následkem teplotní délkové roztažnosti použitých materiálů u desek s plošnými spoji naruší lepený spoj mezi měděnou fólií a plastem [7].

V následujícím rozboru bych chtěl popsat a také vyzkoušet v laboratorních podmínkách teplotní roztažnost těchto materiálů a překonat smykové napětí mezi slepenými materiály kov - plast. A ještě před tím něco málo do teorie lepení a objasnění jaké materiály se používají a jakým způsobem jsou tyto materiály slepené.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LEPENÍ

1.1 Historie lepení

První patent na výrobu lepidla byl udělen v Americe roku 1814. Dalším důležitým okamžikem vývoje lepidel je objev nitrace celulosy v letech 1845-1846. Až v roce 1930 přešly překližkárny na lepidla na bázi močoviny a fenolických pryskyřic.

Do druhé světové války byly lepeny jen materiály, které byly schopny lepidlo vsáknout-dřevo, kůže, papír.

Výjimkou byla fólie na bázi fenolické pryskyřice, která byla použita ve stavbě dřevěných motorových letounů. Před druhou světovou válkou mají pro lepení význam také objevy některých polymerů, kterých bylo k lepení použito až později:

1931 - polychloropren

1935 - výroba butadienu

1937 - polyisobutylen a butylkaučuk, polyuretany z diisokyanátů a z vícemocných alkoholů

1938 - **epoxydy**

1940 - nenasycené polyestery

Velkým mezníkem v historii lepení je objev fenolformaldehydové pryskyřice, modifikované polyvinylformalem, která umožnila ve V. Británii roku 1943 sériovou výrobu letounu, kde se lepil dural s překližkou [2].

Od té doby se vůdčím oborem techniky lepení stává letectví a zůstává prakticky až do současnosti. Samozřejmě, že velkým vůdčím oborem je také kosmická technika. V současnosti se lepení používá téměř ve všech oborech techniky. Např. stavba lodí, automobilový průmysl, strojírenství, stavebnictví, měřicí a regulační technika, elektrotechnika, zdravotnictví a v mnoha dalších.

1.2 Výhody a nevýhody lepených spojů

Asi nejdůležitější výhodou lepených spojů je ve srovnání se spoji klasickými zvýšení celkové pevnosti vhodně konstruovaného spoje. Při nýtování a šroubování otvory zmenšují průřez spojovaných dílů a kromě toho vyvolávají vysokou koncentraci napětí, takže materiál výrazně ztrácí na pevnosti. **Další výhody:**

- spojení různorodých materiálů bez ohledu na jejich tloušťku
- není narušena celistvost spojovaných dílců
- spoje mohou být vodotěsné i plynotěsné
- lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i pevnost
- zabraňuje korozi
- nezvyšuje se výrazně hmotnost
- mohou být průhledné i barevné
- vysoká pevnost ve smyku
- snížení výrobních nákladů
- možnost miniaturizace
- tepelná a zvuková izolace
- možnost spojení velkých ploch
- hladké vnější povrchy

Dále jsou zde také určité nevýhody:

- vysoké požadavky na rovinnost a hlavně čistotu povrchu lepených dílců
- nutné speciální úpravy povrchu lepených dílců se špatnými adhezními vlastnostmi
- citlivost vůči namáhání v odlupování
- náročnější na vybavení pracoviště pro průmyslové lepení

1.3 Teorie lepení

Je pozoruhodné, že na rozdíl od jiných odvětví vědy a techniky, ve kterých teorie předpověděla nové možnosti, v oblasti lepení teorie od začátku zaostává za praxí.

Celková pevnost lepeného spoje závisí na dvou nejdůležitějších činitelích: adhezi a kohezi. Vzájemné přitahování dvou povrchů adhezivními silami, adheze, souvisí s molekulovou strukturou lepidla, je výsledkem působením fyzikálních sil, mezimolekulárních sil a chemických vazeb.

Naopak koheze (označovaná jako vnitřní adheze) charakterizuje soudržnost lepidla, kde jeho částice působením valenčních a mezimolekulárních sil drží pohromadě.

Teorie se opírá a vztahy molekul a jejich vzájemného působení. Podle nejnovějších zjištění je sem třeba také zařadit vztahy z nadmolekulární struktury.

V současné době se nejčastěji citují tyto teorie adheze: **molekulová teorie** (adsorpční), **elektrostatická teorie**, **mechanická teorie**, **difuzní teorie** a **chemická teorie** [4].

1.3.1 Molekulová teorie

V dnešní době je tato teorie nejvíce přijímaná. Základem teorie je vzájemné působení molekul adherendu, lepeného materiálu, a lepidla, proto je nutné, aby oba druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Adhezí spoj vzniká postupně. Nejprve přejdou molekuly adheziva k povrchu adherendu. Po přiblížení těchto molekul na vzdálenosti menší než 0,5 nm zde působí mezimolekulární síly (van der Waalsovy). Za předpokladu dostatečného kontaktu na molekulární úrovni adherendu a adheziva postačují van der Waalsovy síly ke své četnosti k dobré pevnosti adhezího spojení. Nedostatečný kontakt spoje úzce souvisí s dokonalostí smáčení povrchu adherendu s adhesivem.

1.3.2 Elektrostatická teorie

Teorie udává spoj dvou materiálů jako kondenzátor, jehož rozdílně nabitě desky se přitahují. Při oddělení se vzniklý potenciálový rozdíl vyzáří jako elektronová emise. Při

podrobnějších studiích však nebyl nalezen vztah související mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností adhezního spoje.

1.3.3 Mechanická teorie

Vychází z představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a pórů povrchu adherendu, dojde po zatuhnutí adheziva k zaklínění v povrchu lepeného materiálu.

1.3.4 Difuzní teorie

Tato teorie předpokládá vzájemnou mísitelnost, slučitelnost adherendu a adheziva a v podstatě vychází z teorie mechanické, ale na úrovni molekulární.

1.3.5 Chemická teorie

Pro slepení dvou materiálů je podle této teorie nezbytný vznik primárních chemických (kovalentních) vazeb napříč rozhraní adheziva a adherendu. Takovéto vazby někdy vznikají, ale pouze v malém počtu.

1.4 Technologie lepení

Většinou se jedná o čtyři základní fáze [16]: **příprava spojovaného materiálu** (což se ukazuje jako nejdůležitější krok), **příprava lepidla**, **nanášení lepidla a montáž spoje** (vytvoření pevného spoje).

1.4.1 Příprava spojovaného materiálu.

Důležité při přípravě adherendů je smáčivost, která by měla být maximálně možná. Upravovat povrch můžeme fyzikálně: broušení, smirkování, pískování, obrábění, ozařování, ultrazvukové čištění. Nebo chemicky: různými druhy odmašťovadel, moření.

1.4.2 Příprava lepidla.

Základem je, aby se lepidlo svými vlastnostmi co nejvíce přibližovalo adherendům, nebo nalézt vhodný kompromis. Jinak způsob přípravy lepidla závisí na druhu lepidla (chem. složení, počet složek), způsobu nanášení a způsobu vytvrzování (teplota, tlak)

1.4.3 Nanášení lepidla

Lepidlo se ve většině případů nanáší na obě lepené plochy a do souvislé a rovnoměrné vrstvy.

1.4.4 Montáž spoje

Za pomoci vhodných přípravků se zafixují lepené díly předepsaným kontaktním tlakem a vytvoří se fyzikální a chemické podmínky pro vznik pevného spoje.

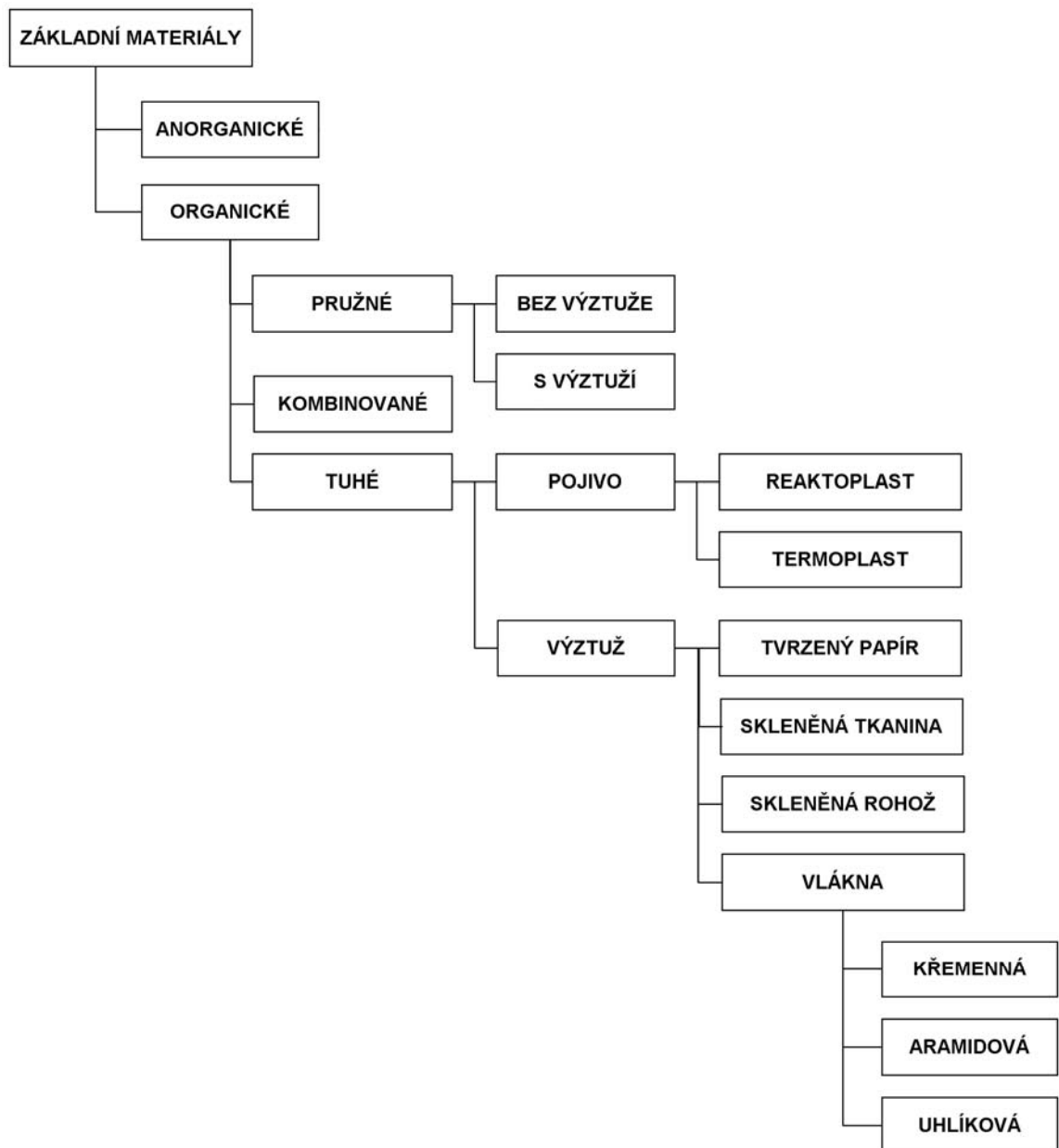
1.5 Rozdělení lepidel

Lepidla se rozdělují podle nejrůznějších hledisek. Nejzákladnější hledisko je chemické složení a dále pak fyzikální charakter lepidla.

Rozdělení podle chemického složení:

- přírodní** - organická (živočišný a rostlinný původ: klihy, škrob, celulóza, pryskyřice, kaučuk, asfalt)
- anorganická (vodní sklo, sádra, cement, keramika)
- syntetická** - na bázi reaktoplastů (melamin-formaldehydové, močovino-formaldehydové,
- epoxydové a polyesterové pryskyřice, polyuretany)
 - termoplastů (tavná, rozpouštědlová, disperzní, reaktivní lepidla)
 - elastomerů (chloroprénová, na bázi přírodních a syntetických kaučuků)
 - směsné reaktoplasticko-termoplastické systémy

Dále jsem se zaměřil na epoxydové pryskyřice a materiály používané k výrobě desek plošných spojů, obrázek 3 [10].



Obr. 3 Základní materiály pro výrobu desek s plošnými spoji

2 VÝROBA DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI

2.1 Materiály používané k výrobě desek s plošnými spoji

2.1.1 Normy NEMA (American National Electrical Manufacturers Association)

Jsou to nejčastěji používané specifikace o základních materiálech používaných ve spotřební elektronice (rozhlas. Přijímače, TV, atd.). Tyto normy jsou založeny na levných a běžně dostupných pryskyřicích. A plně vyhovujících pro normální použití.

Tyto materiály jsou v normě označeny XXXP a XXXPC [13]. Jde o materiály na bázi fenolických pryskyřic a papíru s přiměřenou navlhavostí, střední pevností a přiměřenými elektrickými vlastnostmi. P označuje materiál vhodný pro děrování a PC pro děrování za studena. V oblasti počítačové techniky a v průmyslové elektronice se převážně používají základní materiály na bázi skleněných tkanin. Norma NEMA je popisuje jako G2, G3 (fenolická pryskyřice), G5 (melaminová pryskyřice), G10 (epoxydová pryskyřice), G11 (teplotně odolná epoxydová pryskyřice), FR4, FR5, které jsou nehořlavé verze G10 a G11 a dále GP01, GP02 a GP03 (polyesterová pryskyřice vyztužená netkanými vlákny). K výrobě desek pro montáž integrovaných obvodů obvykle nejlépe vyhovují základní materiály FR4 nebo G10, které poskytují nejlepší souhrn elektrických a mechanických vlastností s nejlepší soudržností mezi pryskyřicí a skleněnými vlákny a mezi pryskyřicí a plátovanou mědí. Použití materiálu G11 nebo FR5 nemá zvláštní význam, neboť pevnost desek je zpravidla větší, než je potřebné, a je také zbytečné používat materiál, který si uchovává nepotřebnou pevnost při teplotách mnohem vyšších, než při kterých pracují integrované obvody. Kromě toho materiály typu G11 nevykazují takovou soudržnost pryskyřice s plátovanou mědí jako u typu G10.

2.1.2 Organické základní materiály

Jsou to organické pryskyřice s výztuží (příp. bez výztuže). Mají velmi dobrou tepelnou vodivost a chemickou odolnost. Avšak vyšší hmotnost, cena a jsou křehké. Dále pak materiály dle tuhosti dělíme na neohebné a ohebné.

2.1.3 Neohebné materiály

Používají jako pojivo termosety tj. vysoce zesíťované polymerní řetězce (zejména epoxydy). Ohebnost se vyskytuje u materiálů, které používají jako pojivo termoplasty.

2.1.4 Výztuž

Je to vlastně kostra laminátu, která vyztužuje celou desku a zvyšuje její mechanické vlastnosti (např. pevnost v tlaku, tahu a ohybu) i rozměrovou stálost a výrazně ovlivňuje elektrické, chemické i teplotní charakteristiky.

2.1.4.1 Výztuž ze skleněného vlákna

E-sklo se používá častěji, ale má nižší mechanickou pevnost a menší dielektrické vlastnosti, než S-sklo. Výztuže se splétají z těchto skleněných vláken do rohoží, nebo do tzv. tkaniny.

2.1.4.2 Výztuž z papíru

Pro elektrotechnické účely se vyrábí ze sulfátové buničiny. Základní parametry papíru jsou - struktura, pórovitost, navlhavost, hustota, povrch, tloušťka a rovnoměrnost tloušťky. Vrstvy papíru mají velkou savost a jsou z obou stran opatřeny vrstvou pryskyřice.

2.1.5 Pojivo

2.1.5.1 Reaktoplastové pryskyřice

Jedná se o neohebný materiál, má vysoce zesíťované polymerní řetězce a patří sem fenolformaldehydové pryskyřice, epoxydové pryskyřice, polyesterové pryskyřice, polyimidové pryskyřice a bismaleinimidové pryskyřice (BT) [17].

Fenolformaldehydové pryskyřice

Výztuží je celulózový papír. Výhodou je nízká cena a přijatelné elektrické vlastnosti. Používá se pro méně náročné aplikace (spotřební elektronika). Většinou jednovrstvé desky plošných spojů. Má malou pevnost Cu fólie v odtrhu.

Epoxydové pryskyřice

Mají lepší elektrické, mechanické, chemické a teplotní charakteristiky. Materiály s tímto pojivem jsou: tvrzený papír a epoxydová pryskyřice (FR – 3, nahrazuje FR-2), skloepoxydový laminát (G - 10, FR – 4, G – 11, FR – 5, skleněná tkanina nebo rohož + epoxydová pryskyřice), kompozitní lamináty (CEM – 1, obsahují min. dva materiály výztuže) a aramid-epoxydový laminát (vhodné pro zhotovování otvorů laserem nebo plasmou) [17].

Polyesterové pryskyřice

S tímto pojivem se vyrábí materiál FR – 6, který má polyesterovou pryskyřici v samozhášivém provedení. Výhodou jsou konstantní dielektrické vlastnosti zejména v oblasti vysokých frekvencí.

2.1.5.2 Termoplasty

Jsou to materiály s dlouhými lineárními molekulami bez mezimolekulárních vazeb a proto jsou ohebné. Patří sem polyeterimid, polytetrafluoretylen (PTFE), polyimidové pryskyřice, polyétersulfon, polyetylentereftalát (PET) a polyetylénnaftalát (PEN).

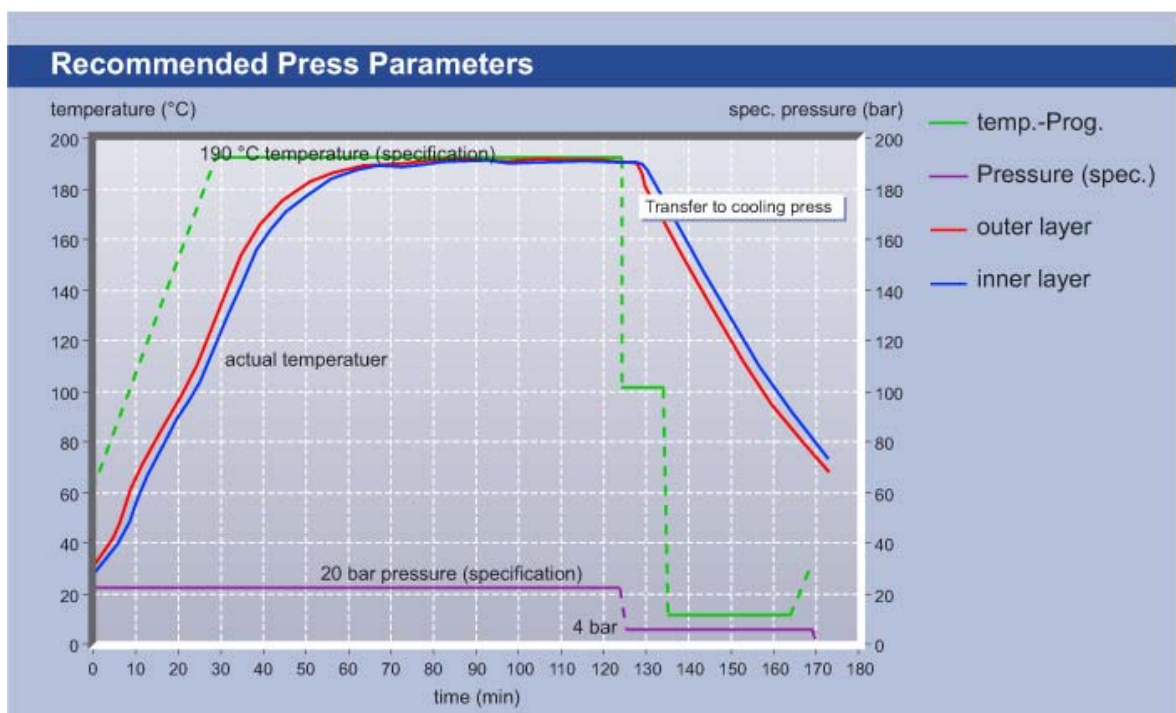
2.2 Výroba desek s plošnými spoji

2.2.1 Původní plošné spoje

Vývoj typické dnešní desky s plošnými spoji musel čekat na vývoj moderních umělých pryskyřic, především fenolických a epoxydových a vyztužovacích tkanin ze skleněných vláken. Jeden z prvních pokusů o výrobu plošných spojů se skládal z obvodu kreslených metalizovanými a jinými vodivými inkousty na jemné hedvábí a z kondenzátorů vytvářených z tenkých lístku slídy mezi dvěma pokovenými ploškami na hedvábném podkladě. Mezi křížující se vodiče byly nalepovány kousky hedvábí. Připájením mikrominiaturních elektronek a diod byla dokončována výroba těchto vpravdě tištěných obvodů, které byly údajně používány ve vysílacích a přijímacích stanicích tajných agentů za války [14].

2.2.2 Tvorba desek

Základní materiál nejvíce používaný u uvažovaného typu desek, skelný laminát, se vyrábí impregnační tkaniny ze skleněných vláken pryskyřicí a lisování potřebného počtu vrstev impregnované tkaniny vložených mezi měděné fólie ve velkém hydraulickém lisu. Mezi jednotlivé vrstvy se vkládají plechy z nerezavějící oceli a lisování se provádí obvykle ve víceetážovém lisu. Nejprve se sestava zahřeje na 135°C. Při této teplotě se lisuje 20 minut a poté se teplota zvýší na 175°C po dobu 30 minut. Následně se systém ochlazuje. Tento postup prováděli v Semtíně u Pardubic ve firmě LAMITEC CZECH s.r.o. [14]. Trochu odlišné nastavení teplot při lisování používá německá firma Isola AG jak ukazuje graf na obrázku 4 [15].

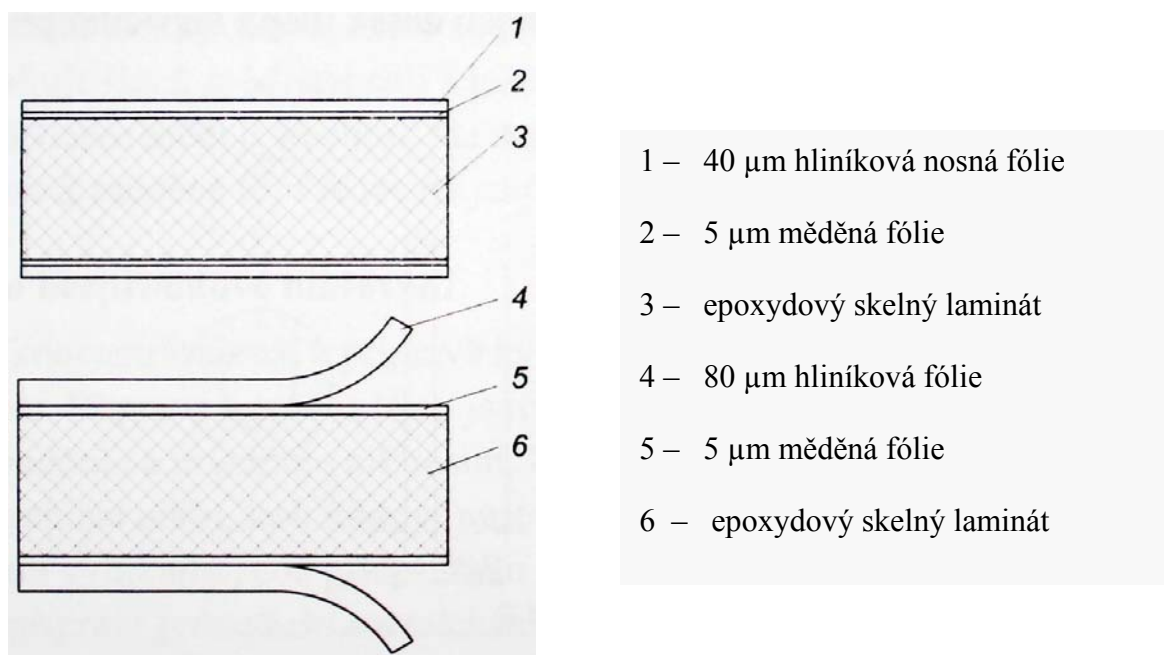


Obr. 4 Průběh lisování desky v čase

Měděné fólie se tvoří elektrolyticky na povrchu ocelových nebo pochromovaných bubnů. Při elektrolytické výrobě je vnější povrch měděné fólie drsnější v závislosti na délce procesu. Tento povrch je ještě více zdrsňován, aby se docílilo ještě lepšího spojení s pryskyřicí základního materiálu [14].

Přilnavost takovéto měděné fólie k povrchu desky je podstatně větší, než by tomu bylo při použití měděné fólie válcované.

V české firmě LAMITEC CZECH s.r.o. se desky vyrábějí z tvrzené skleněné tkaniny plátované měděnou fólií. Jedná se o výše uvedený typ FR-4. Jejich standardní rozměry jsou: 1220 x 920 mm resp. 1155 x 1065 mm. Desky se vyrábějí v tloušťkách 0,075 až 3,2 mm, výjimečně až do 5,5 mm. Standardní tloušťky jsou 1,0; 1,5 a 2 mm. Tloušťka plátované mědi je 18; 35; 70 a 105 μm . Na obrázku 5 je znázorněna skladba materiálu na desce pro měděnou fólii o tloušťce 5 μm .



Obr. 5 Schématické znázornění skladby plátovaného materiálu

3 RECYKLACE DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI

Jak jsem už v úvodu naznačil, k zpracování desek s plošnými spoji a k jejich recyklaci se používá nejčastěji těchto způsobů: mechanický, metalurgický a chemický.

Při mechanickém zpracování odpadu se šrot hrubě drtí na čelistových drtičích a na třídícím pásu se odstraní velké části plastových a železných rámů a pod. Zbytek se přivede do kulového mlýna, do kterého je současně vstřikován kapalným dusíkem. Šrot se ve stavu zkřehnutí šetrně rozemele, drt se třídí magnetickou separací a dále aerací a separací v cyklónech na frakce plastů, keramiky, hliníku a mědi. Frakce plastů se ještě dále dělí na lehký podíl určený k recyklaci a těžký podíl, který je ještě přepracován chemicky. Tento popsaný mechanický způsob se používá v Japonsku.

Nejžádanější kov přítomný v elektroodpadech – zlato – je možno selektivně a snadno izolovat loužením zředěnými roztoky alkalických kyanidů. Podmínkou je, aby jeho povrch byl přístupný kontaktu s loužícím roztokem. To bývá splněno při ručním rozebírání odpadu. Loužení má vysokou účinnost a jeho výhodou je fakt, že ostatní kovy nejsou dotčeny. Nevýhodou je samozřejmě vysoká toxicita použitého činidla. Nejčastěji používané slitiny na bázi Cu a Zn tak mohou být dále metalurgicky rafinovány,

Výchozím produktem je surová měď. Plasty shoří a skleněná vlákna a keramika se roztaví a přejdou do strusky. Olovo, zinek, železo a cín jsou oxidovány a ušlechtilé kovy jsou zkoncentrovány v surové mědi [11]. Je vhodné také říct, že plasty používané pro výrobu desek jsou většinou ohnivzdorné a obsahují velký podíl bromovaných pryskyřic. Proto je potřeba dokonalá destrukce při spalování (velmi vysoká teplota). Jinak by při nedokonalém spalování mohly vznikat nebezpečné dioxiny.

Dnes se hledají různé cesty separace materiálů používaných k výrobě desek s plošnými spoji, o kterých se očekává minimální, při nejlepším, žádný negativní dopad na životní prostředí. Zajímavou cestou je separace tohoto odpadu teplotním šokem, kde se následkem teplotní délkové roztažnosti použitých materiálů u desek s plošnými spoji naruší lepený spoj mezi měděnou fólií a plastem. V laboratorních podmínkách jsem vyzkoušel tento způsob oddělení Cu od desky složené převážně z epoxydové pryskyřice.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 SEPARACE DESEK S PLOŠNÝMI SPOJI VLIVEM TEPLoty

Pro měření byla vybrána deska s plošnými spoji (měď a epoxydová pryskyřice), která zastupuje většinu vyřazených desek určených k recyklaci. Cílem provedených laboratorních zkoušek bylo ověřit, zda je možná separace měděné fólie a desky pomocí rozdílné teplotní roztažnosti těchto materiálů. měděná fólie již není po celé ploše desky, ale je upravena na plošné spoje vytvořené např. odleptáním nepotřebných částí měděné fólie jak ukazuje obrázek 6.



Obr. 6 Zkoušený vzorek

4.1 Experiment

4.1.1 Princip zkoušky

Zkoušený vzorek desky s plošnými spoji zahřeje na vyšší teplotu a ve velmi krátké době prudce zchladím, tzv. tepelný šok. Na základě rozdílné teplotní délkové roztažnosti mědi a epoxydové pryskyřice, jak je uvedeno v tabulce 1, kde E je modul pružnosti a α je součinitel délkové roztažnosti, a z naměřených výsledků J. Křenka [12] vyplývá, že pro plochu 10 mm^2 vodivé cesty je nutno dosáhnout teplotního rozdílu nejméně 91°C pro překonání adhezních sil. Při vyšším rozdílu teplot dojde snadněji k odtrhnutí mědi od plastu.

	Epoxydová pryskyřice	měď
E (Pa)	$1,4 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^{10}$
α (K ⁻¹)	$13 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-6}$

Tab 1. Mechanické vlastnosti materiálů

4.1.2 Přístroje a zařízení

Horkovzdušná pistole BLACK&DECKER BD 1666, 1600W. Dvě úrovně teploty 300°C a 560°C.

Bezkontaktní teploměr Thermopoint 64plus fy AGEMA Infrared Systems se sondou ke kontaktnímu měření, rozsah od -30°C do +900°C.

Stereomikroskop OLYMPUS SZX7u

Vodní lázeň

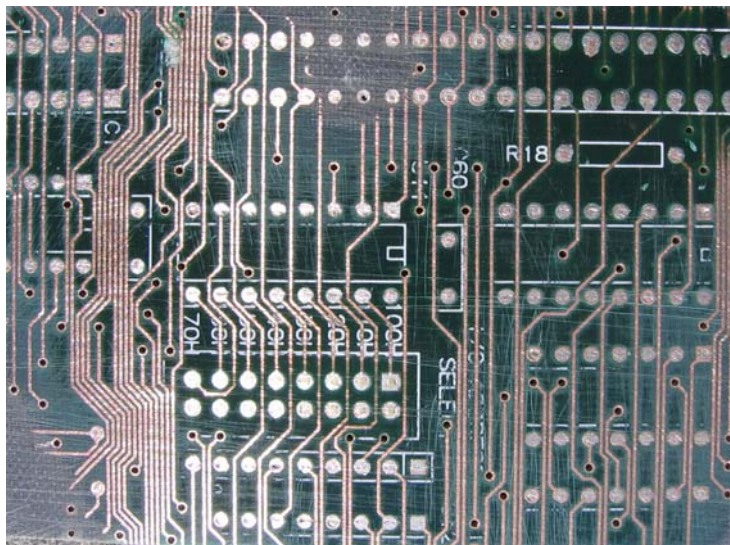
Brusný papír č.150

Upínací zařízení

Zařízení k měření času

4.1.3 Zkušební vzorky, příprava

Tuto zkoušku jsem opakoval 5 krát a proto jsem měl připraveno pět vzorků desek s plošnými spoji, ze kterých byly mechanicky odděleny elektronické součástky. Jsou to vzorky vyjmuté z asi 7 let starých počítačových sestav. Zkoušené vzorky měli velikost 70x40x1,2 mm. Protože je na většině ochranný epoxydový lak, musí se odstranit broušením brusným papírem č. 150. Takto připravený vzorek je na obrázku 7.



Obr. 7 Obroušený zkušební vzorek

4.1.4 Postup při experimentu

Zkušební vzorek jsem nejprve upevnil do upínacího zařízení a při odečtu času začátku ohřevu horkovzdušnou pistolí se měřila teplota bezkontaktním teploměrem. Na displeji teploměru se ještě před začátkem měření muselo nastavit jakého materiálu se bude teplota odečítat. Po zjištění skokovém kolísání měřených teplot se muselo použít kontaktního měření teploty sondou. Tyto rychlé změny teplot v malém časovém rozmezí jsou způsobeny různými materiály od kterých jsem bezkontaktním teploměrem tyto teploty měřil. Jak je vidět na obrázku 7 jsou plošné spoje (Cu) nedaleko od sebe mezi kterými vystupuje zelená pryskyřice. Proto se použila sonda ke kontaktnímu měření teploty.

Horkovzdušnou pistolí se zahřívá vzorek a asi po 30s jsem naměřil maximální teplotu, jak je vidět v tabulce 2, do které ještě vzorek nezačal hořet. Vzorek jsem pak neodkladně ponořil do vodní lázně, která měla 20°C. Takže rozdíl teplot byl značný. S ohledem na práci [12], tento rozdíl teplot je dostačující k překonání adhezních sil slepených materiálů kov – plast. V tomto případě Cu a epoxydové pryskyřice.

Č. vzorku	Teplota [°C]
1	382
2	374
3	356
4	372
5	368

Tab. 2 Maximální naměřené teploty

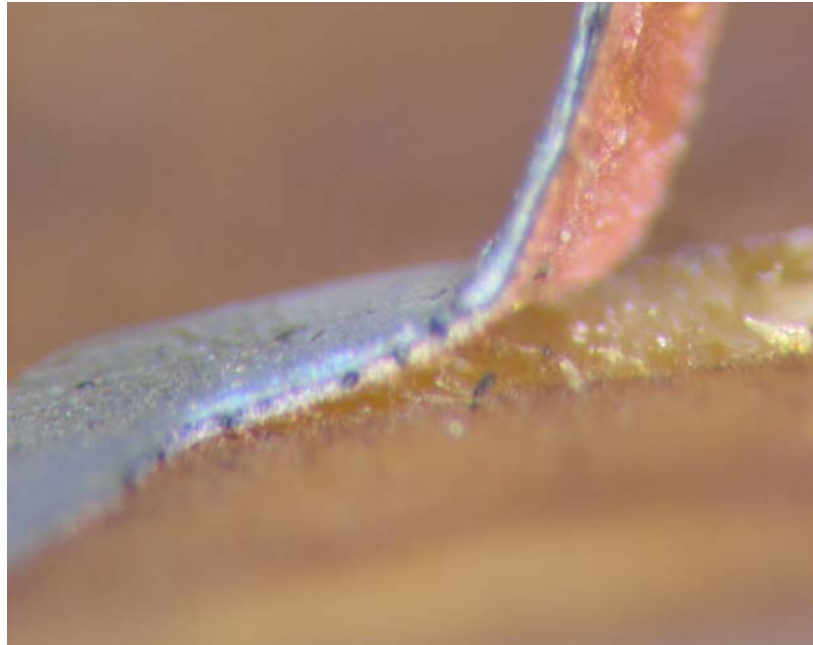
Čas, který stačil na ohřev vzorku byl okolo 30 s, záleželo jak daleko je od vzorku umístěna horkovzdušná pistole. V mém případě to bylo 15 mm od výfuku horkého vzduchu.

Po eliminaci nejvyšší a nejnižší maximální naměřené teploty mi vyšla průměrná teplota 371,3°C.

4.1.5 Výsledky experimentu a jejich diskuse

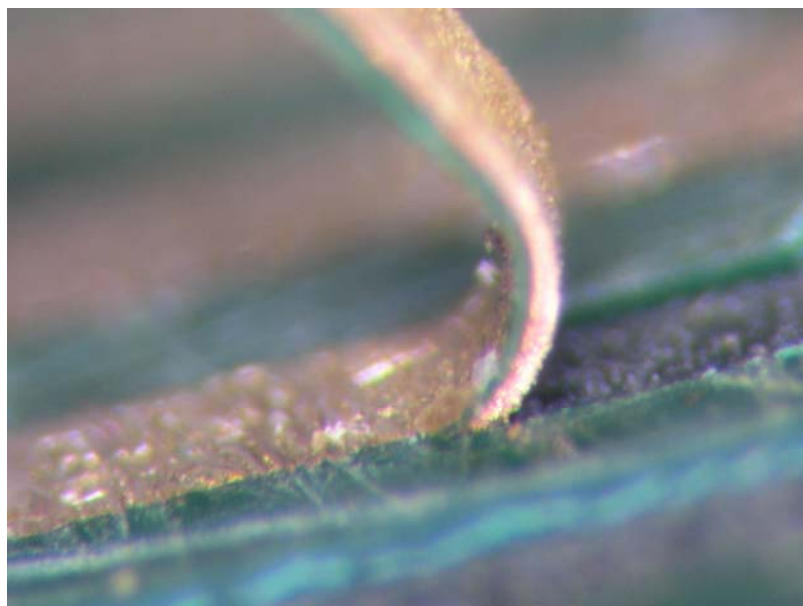
Výsledky experimentu jsou zachyceny na obrázcích 8 až 13, které byly pořízeny mikroskopem o zvětšení 5,6X a fotografickým aparátem s optickým zvětšením 4X přes tento mikroskop nebo mimo něj.

Jak je výše popsáno vodivé cesty bývají po napájení všech elektronických součástí ochráněny tenkou vrstvou epoxydového laku. U 4 vzorků se tento lak obrousil brusným papírem. Pouze u jednoho vzorku se nic brousit nemuselo. Tento vzorek byl nejstarší ze všech a ochranou vrstvou laku neměl. A současně také zde se očekávaný výsledek experimentu zdál být nejvěrohodnější. Z obrázku 8 je zřejmé, že teplotní roztažnosti vodivé cesty do svých stran nic nebrání a proto se lepený spoj narušil nejvíce ze všech vzorků. Některé části lepeného spoje mědi a desky se narušily natolik, že se vodivá cesta odloupla zcela.



Obr. 8 Narušený spoj a odlouplá vodivá cesta

U dalších 4 vzorcích jsou lakem dokonale zalita místa mezi vodivými cestami, jak je vidět na obrázku 9, a pravděpodobně proto tato plocha brání mědi teplotní roztažnosti. Z obrázku 10 je zřejmé, že po okrajích odlouplé vodivé cesty je stále přilepena nepatrná část tohoto laku.



Obr. 9 Lakem zalita místa kolem vodivé cesty



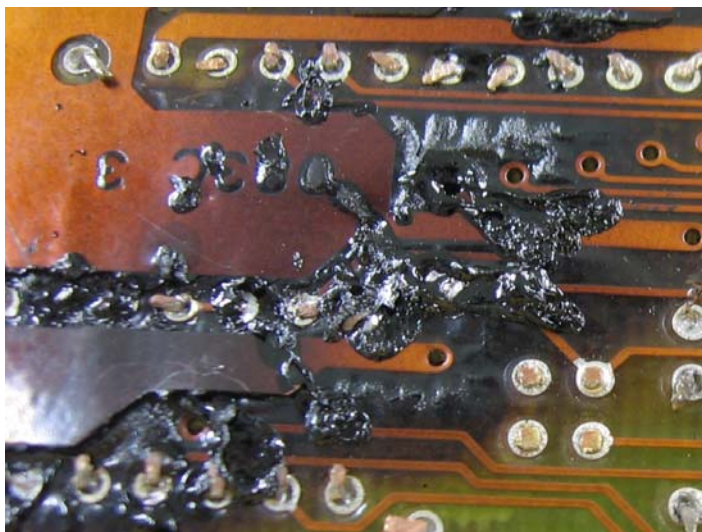
Obr. 10 Po okrajích odlouplé cesty přilepený ochranný lak

U vzorků, kde byly mezery mezi vystouplými vodivými cestami zality lakem, nebylo možné tento lak z těchto mezer nijak mechanicky odstranit. Pouze jsem lak obrousil do výšky vodivých cest.

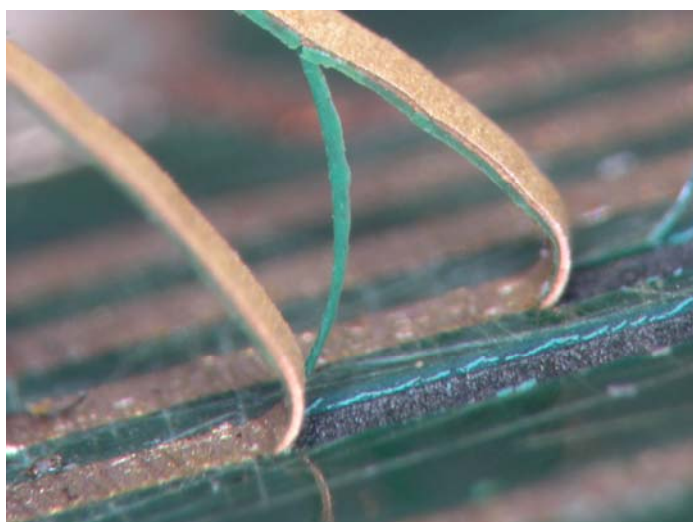
Lepený spoj se u těchto 4 vzorků nenarušil natolik, že by se samovolně odlupoval, ale z části narušen byl a dalším mechanickým zásahem bylo možné odloupnout určitou vodivou cestu menší silou, než by bylo potřeba k odloupení před tímto experimentem. Pevnosti v loupání v materiálových listech společnosti LAMITEC CZECH s.r.o. [14] uvádějí v dodaném stavu $1,05 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ a při zvýšené teplotě $0,7 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

Některé vzorky jsem spálil, jak je vidět v levé dolní části obrázku 11, ve spálených místech se vodivá měděná cesta odloupla samovolně.

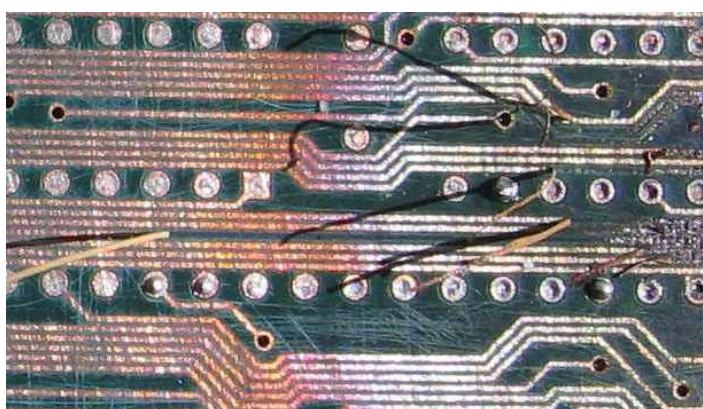
Zkoušel jsem ještě jednu metodu několika teplotních šoků, a to jeden vzorek zahřívát a ochlazovat několikrát za sebou. Po pátém ohřátí a opětovném ochlazení bylo vidět, že jsou cesty narušeny natolik, aby stačila malá síla tyto měděné cesty odstranit, např. seškrábnutím. Tento vzorek je vidět na obrázku 13.



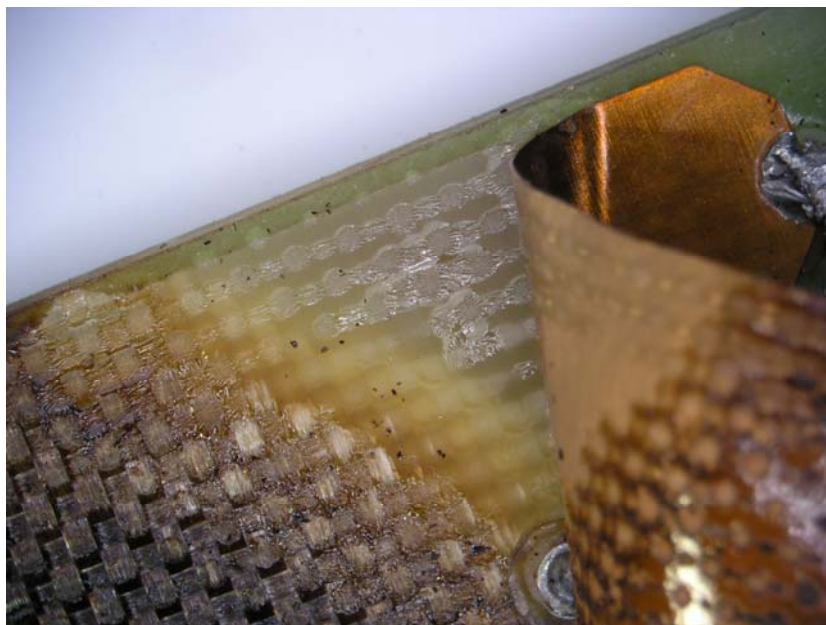
Obr. 11 Spálený povrch vzorku



Obr. 12 Další ukázka odlouplé vodivé cesty



Obr. 13 Několikanásobný tepelný šok tohoto vzorku



Obr. 14 Ukázka vzorku, kde teplota zahřívání byla zleva nejvyšší

4.2 Závěr experimentu

V experimentu, který jsem provedl v laboratoři ÚVI FT, se kterým náš ústav úzce spolupracuje, jsou výsledky mého měření. Hlavní podstata tohoto měření byla ověřit zda je možné oddělit lepené materiály pomocí teplotního šoku. Tyto výsledky jsou prezentovány na fotografiích - obrázcích 8 až 14. Je z nich zřejmé, že se lepený spoj narušil natolik, že došlo v určitých případech k rozdělení lepených materiálů.

V případě prvního vzorku, který nebyl chráněn lakem bylo vidět, že po prudkém ochlazení a vyjmutí z vodní lázně jsou některé vodivé cesty odtrhnuty od epoxydové desky působením teplotní roztažnosti materiálu.

ZÁVĚR

Téma práce lepených spojů jsem si vybral pro lákavou představu poznání teorie této bezesporu pokrokové technologie spojování materiálů. Lepidla a lepené spoje nás obklopují na každém kroku a v budoucnu se s nimi budeme setkávat stále více. Technika spojování lepením je mladý spojovací prostředek, i když z historie lepení víme, že tato technologie je známá již několik tisíciletí, hlavně v posledních letech, kde se vývoj lepení rychle a dynamicky rozvíjí ve strojírenství, automobilovém a leteckém průmyslu, stavebnictví a dalších odvětvích průmyslu. Lepení je dnes srovnatelné s jinými metodami spojování jako je např. svařování, nýtování apod..

Přednosti lepení jsou již zcela zřejmé a výhody používání jsou většinou v úspoře hmotnosti a především ve vysoké pevnosti spojených materiálů.

Po přečtení několika kapitol v knihách a odborných časopisech jsem však narazil na problém vysvětlení teorie lepení. Doposud totiž nikdo neshrнул tento problém do jedné teorie lepení. Každá teorie zvláště popisuje podstatu lepení určitého druhu lepeného materiálu. Některé přežívají z minulosti a jiné se objevují bez vlivu na změny v technologii lepení. Jsou zde ale i pomocné faktory, které mají podstatný vliv na pevnost lepeného spoje, např. smáčení materiálu a příprava materiálu před lepením.

Seznámení se s teorií lepených spojů a hlavně technologií výroby a materiálového složení desek s plošnými spoji mi pomohlo pochopit jakým způsobem je slepený např. plast s kovem (měděné vodivé cesty na epoxydové desce). Další literární studie recyklace elektroodpadu mi osvětlila metody separace.

Hlavním úkolem této práce bylo nastudování vlivu teploty na lepený spoj a ověření možnosti zmíněné materiály (kov, plast) oddělit jiným způsobem než obvyklými metodami separace a to na základě rozdílné teplotní délkové roztažnosti mědi a epoxydové pryskyřice. V laboratoři jsem tuto možnost separace teplotním šokem ověřil a předpoklad tak potvrdil. Zkušební vzorek jsem zahříval horkovzdušnou pistolí na teplotu kolem 370°C po dobu 30s a následně jsem vzorek zchladil v nádobě s vodou o teplotě 20°C. Je třeba však experimentálně nalézt takový teplotní rozdíl, který by byl ekonomicky nenáročný a který by šel optimálně využít. Výsledky práce z laboratoře ukazují výše uvedené fotografie na obrázcích 8 až 14.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

I've chosen bonded joints as the topic of my work for the tempting idea of getting to know the theory of without a doubt the most progressive technology for joining materials. Adhesives and bonded joints surround us with each step and in the future we'll get to see more and more of them. The technology for joining by adhesives is a young joining tool, although from the history of bonding we know that this technology is already known for some millennia, especially in the recent years when the bonding development is rapidly and dynamically growing in mechanical engineering, automobile and aviation industries, construction and other fields of industry. Bonding today is comparable with other methods of joining such as welding, riveting and so on.

The advantages of bonding are quite evident and benefits in their use mainly lie in the weight savings and foremost in the high stronghold of bonded materials.

However, after reading a few chapters in books and expert magazines I stumbled upon an issue with explanation of bonding theory. Up until now no one has summarized this issue into one bonding theory. Each theory extra describes the essence of certain bonding type of a specific bonded material. Some survive from the past and others appear without an influence on changes in bonding technology. However, there are also additional factors, which have a significant influence on the stronghold of the bonded joint, e.g. wetting of material and preparation of material before bonding.

The introduction to the theory of bonded joints and especially production technology and material composition of boards with printed circuits helped me understand how are, for example plastic and metal (copper conductive paths on an epoxy board), bonded. Another literary study of recycling electro waste has enlightened to me the processes of separation.

The main objective of this work is to study the influence of temperature on a bonded joint and to verify the possibility to separate the stated materials (metal, plastic) in another way than the usual method of separation than the usual methods of separation based on a various temperature length expendability of copper and epoxy resin. I have verified the possibility of separation by temperature shock in laboratory and the presumption was confirmed. I heated the test sample with a hot air gun to a temperature around 370°C for a period of 30s and following this I've cooled down the sample in a

container with water having a temperature of 20°C. However, it is necessary to find such a temperature difference, which would be economically undemanding and which could be optimally used. The laboratory work results indicate the abovementioned photographs on pictures 8 through 14.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kovačič, L.: Lepenie kovov a plastov, SNTL Praha, ALFA Bratislava, 1980
- [2] Peterka, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, SNTL Praha, 1980
- [3] Lidařík, M., Kincl, J. a kol.: Epoxydové pryskyřice, SNTL Praha, SVTL Bratislava, 1961
- [4] Langmaier, F.: Adhese a adhesiva, Ediční středisko FT VUT, 1999
- [5] Kašpar, Z., Miller, M., Hrabě, P.: Pevnost lepených spojů - vliv způsobu chemického čištění, Tématický magazín, Svařování - dělení - spojování materiálů, TM vydavatelství Praha, 5-6/2005
- [6] České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní [online]. [cit. 2007-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.fsid.cvut.cz>>
- [7] Ministerstvo životního prostředí ČR [online]. [cit. 2007-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.env.cz>>
- [8] Český statistický úřad [online]. [cit. 2007-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.czso.cz>> <zdenka.strnadlova@czso.cz>
- [9] Deník o životním prostředí EKOLIST [online]. [cit. 2007-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekolist.cz>>
- [10] HW server [online]. [cit. 2007-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.hw.cz>>
- [11] Křištofová, D.: Kovy a životní prostředí - environmentálně nebezpečné složky elektroodpadu, Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2005
- [12] Křenek, J.: Diplomová práce, Separace elektronického odpadu vlivem teploty, UTB-FAI ve Zlíně, 2007
- [13] Šavel, J.: Elektrotechnologie – materiály, technologie a výroba v elektronice a elektrotechnice, 4. rozšířené vydání, Ben – technická literatura Praha, 2005
- [14] Firma LAMITEC CZECH s.r.o., Příbyl, vedoucí výroby [online]. [cit. 2007-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.lamitec-czech.cz>>
- [15] Firma Isola AG [online]. [cit. 2007-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.isola.de>>

- [16] Hisem, P., Elipsová, L.: Základy technologie lepení, Tématický magazín, Lepidla – tmely – pu pěny – lepicí pásy v praxi, TM vydavatelství Praha, 1/2003
- [17] Povrchová montáž součástek [online]. Areálová knihovna fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně [cit. 2007-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://147.229.68.79/smt>>
- [18] ČSN EN 923 Lepidla - termíny a definice.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, ZKRATEK A ODBORNÝCH VÝRAZŮ [18]

E	Modul pružnosti [Pa].
α	Součinitel teplotní roztažnosti [K^{-1}].
OEEZ	Odpadní elektrické a elektronické zařízení.
PCB	Polychlorované bifenyly.
Adherend	Část lepeného spoje, materiál, na který se nanáší adhezivo
Adheze	Vzájemné přitahování dvou povrchů adhezními silami.
Adhezivum	Materiál schopný držet při sobě povrchy tuhých látek adhezními a kohezními silami, také lepidlo.
Adhezní lom	Destrukce spoje, při kterém dojde k oddělení adheziva od adherendu tak, že na adherendu zůstávají molekulové vrstvy adheziva, často nesouvislé.
Koheze	Stav, ve kterém částice látky působením vzájemných valenčních a mezimolekulárních sil drží při sobě.
Kohezní lom	Destrukce spoje, při kterém trhлина probíhá materiálem lepidla. Znamená to, že adheze mezi materiálem a lepidlem je větší než koheze lepidla.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Materiály desek plošných spojů	9
Obr. 2 Mechanické zpracování	10
Obr. 3 Základní materiály pro výrobu desek s plošnými spoji.....	18
Obr. 4 Průběh lisování desky v čase	22
Obr. 5 Schématické znázornění skladby plátovaného materiálu	23
Obr. 6 Zkoušený vzorek.....	26
Obr. 7 Obroušený zkušební vzorek.....	28
Obr. 8 Narušený spoj a odlouplá vodivá cesta	30
Obr. 9 Lakem zalita místa kolem vodivé cesty.....	30
Obr. 10 Po okrajích odlouplé cesty přilepený ochranný lak.....	31
Obr. 11 Spálený povrch vzorku	32
Obr. 12 Další ukázka odlouplé vodivé cesty	32
Obr. 13 Několikanásobný tepelný šok tohoto vzorku	32
Obr. 14 Ukázka vzorku, kde teplota zahřívání byla zleva nejvyšší.....	33

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Mechanické vlastnosti materiálů.....	27
Tab. 2	Maximální naměřené teploty.....	29