

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Petr Přívratský

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Předúprava povrchu oceli pro lepení epoxidovými lepidly

Petr Přívratský

Bakalářská práce

2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr PŘÍVRATSKÝ**  
Osobní číslo: **D09574**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**  
Název tématu: **Předúprava povrchu oceli pro epoxidovými lepidly**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

Osnova bakalářské práce:  
Úvod do lepení, srovnání s jinými metodami spojování materiálů  
Lepidla vhodná na lepení kovů  
Možné předúpravy povrchů  
Příprava vzorků, praktická měření  
Vyhodnocení výsledků

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Petrie, E. M.: **Handbook of Adhesives and Sealants**. McGraw-Hill, New York USA, 2000, ISBN 0-07-049888-1
2. Ptáček, L. a kol.: **Nauka o materiálu I.-II.** CERM, s.r.o Brno 1999, ISBN 80-7204-193-2
3. Škeřík Jan - **Receptář pro elektrotechniku**, Praha 1988, SNTL
4. M. Osten. **Práce s lepidly a tmety**, Edice: SNTL

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Pavel Švanda, Ph.D.**

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

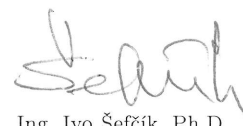
Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2011**



prof. Ing. Bohumil Culík, CSc.

děkan

L.S.



Ing. Ivo Šefčík, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2011

***Prohlašuji:***

*Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.*

*Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména ze skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jiného subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.*

*Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.*

*V Pardubicích dne 27.5.2011*

*Petr Přívratský*

**Poděkování:**

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Pavlovi Švandovi, Ph.D. za náměty a odborné vedení mé bakalářské práce a za čas strávený při konzultacích.

**Souhrn:**

V bakalářské práci jsou zpracovány základy lepení, spolu s metodikou pájení. Obsahuje přehled lepidel pro využití na kovové materiály a jejich využití v praxi. Dále se zabývá metodikou pevnosti závislosti na předúpravě a úpravě povrchů materiálu v porovnání s normou ČSN EN 13887. Zkoušky proběhly v podmínkách laboratoře Dopravní fakulty Jana Pernera, pevnost lepených vzorků byla zkoušena na zkušebním stroji ZD–10/90. Měření proběhlo v souladu s normou ČSN EN 1465.

**Klíčová slova:**

lepidlo, pájka, adheze, koheze, vytvrzení, spoj

**Title:**

Surface Treatment of Steel for Epoxide Glueing.

**Abstract:**

In the bachelor work are basic principles of sticking (glue joining) including procedures for soldering. The work content overview of glues for metal to metal joining and theirs use in practice. The bachelor work dissertate about methods of strength in dependence on surface pretreatment and then it is compare with norm ČSN EN 13887. All tests are done in laboratory of Jan Perner Transport Faculty and strength of glued samples were tested on a test machine ZD–10/90. All measurements are done according to norm ČSN EN 1465.

**Keywords:**

Glued, Solder, Adhesion, Cohesion, Curing, Joint

## OBSAH:

<b>Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Základy lepených a pájených spojů</b> .....	<b>8</b>
1.1 Lepení .....	8
1.2 Základní složení a vlastnosti lepicích prostředků.....	11
1.3 Význam a použití lepených spojů.....	13
1.4 Konstrukce lepených spojů .....	14
1.5 Pájení.....	16
1.6 Pájky .....	18
1.7 Tavidla.....	20
1.8 Konstrukce pájeného spoje.....	23
1.9 Metoda pájení.....	24
1.10 Přednosti a nedostatky spojů.....	28
<b>2 Lepidla pro konstrukční spojení</b> .....	<b>30</b>
2.1 Způsoby dělení lepidel .....	30
2.2 Lepidla vhodná k lepení kovů .....	32
<b>3 Technologie povrchových úprav kovů</b> .....	<b>35</b>
3.1 Čištění.....	35
3.2 Úprava povrchu.....	37
<b>4 Praktická část</b> .....	<b>38</b>
4.1 Příprava lepidla.....	38
4.2 Nános lepidla.....	39
4.3 Fixace lepených spojů .....	39
4.4 Zkoušení lepených spojů.....	40
<b>5 Vlastní měření</b> .....	<b>41</b>
5.1 Příprava vzorků .....	41
5.2 Úprava vzorků .....	41
5.3 Výběr a stanovení tloušťky lepidla .....	43
5.4 Lepení vzorků.....	43
5.5 Zkoušení vzorků .....	44
5.6 Vyhodnocení výsledků.....	44
<b>Závěr</b> .....	<b>47</b>
<b>Seznam použité literatury a zdrojů</b> .....	<b>48</b>
<b>Seznam použité obrázků, tabulek a grafů</b> .....	<b>49</b>



## Úvod

Tato bakalářská práce se bude zabývat především lepení kovů, porovnání jiné metody spojování a úpravou povrchů před lepením s jejich následnými požadavky.

Po roce 1945 se zvýšila úroveň konstrukcí v oblasti spojování klasických i novodobých materiálů. To vedlo k značnému rozvoji syntetických lepidel a dalších pojiv. Souběžně s vývojem technologií umožňující jejich využití.

Lepení kovů syntetickými vytvrditelnými pryskyřicemi je v dnešní době velmi ekonomické, flexibilní, efektivní a stále se rozvíjející způsob spojování. V průmyslové výrobě bylo vždy snahou spojování kovových částí bez použití tepelného procesu jako jsou pájení a svařování a bez mechanických prostředků do nichž patří např. nýtování a šroubové spojení. Mohli bychom říci, že se jedná o pájení za studena. Poskytuje tím nové možnosti spoje takových tvarů a vlastností, které nejsou možné jinými způsoby spojování.

S vývojem technologických postupů dochází i ke kombinaci spojů lepení-svařování, lepení-pájení a lepení-nýtování. V dnešní době se tyto metody spojování využívají ve vojenském, automobilním, leteckém průmyslu a v dalších průmyslových odvětvích.

Lepení umožňuje jak pevné tak i souběžně pružné spoje, ale i vrstvení materiálů na sebe. Lepit můžeme téměř všechny materiály a to i mezi sebou navzájem. Nelze však očekávat, že každé lepidlo poskytne pevné spoje na všech druzích materiálu. Proto je vyvinuta pestrá škála lepidel, mezi něž patří např. epoxidová, chloroprenová, polyuretanová lepidla a mnoho dalších. Proto je dobré znát, jaká lepidla jsou vhodná na dané materiály a jaké vlastnosti od nich očekáváme, abychom zabránili špatným výsledkům.

Výhodou lepených spojů je zvýšení celkové pevnosti vhodného spoje. Nedochází k žádnému úbytku materiálu ani jeho zeslabení. Největší uplatnění pro lepené spoje nalezneme u spojení lehkých kovů a neželezných slitin.

Jako každá spojovací metoda má i lepení své nedostatky. Je důležité dbát na konstrukci, aby byly zajištěné takové podmínky, které by eliminovaly nevýhody lepení. Není-li to možné, je lepší použít vhodnější spojovací metodu, pro lepší výsledek.

# 1 Základy lepených a pájených spojů

## 1.1 Lepení

Lepidla jsou většinou viskózní látky, které po nanesení pevně přilnou k podkladu (díky své lepivosti). Po určité době při normální nebo zvýšené teplotě zatvrdnou, a tím spolehlivě spojí lepené materiály.

V současné době vyrábí chemický průmysl velké množství lepidel mnoha druhů. Požaduje se především jednoduchá příprava, která nejlépe jejich regulovatelná doba tuhnutí a malé smrštění po vytvrzení. Spolehlivé lepidlo má být rovněž zdravotně nezávadné a má mít co nejdelší skladovatelnou lhůtu. Směs připravená k nanášení by měla mít velkou životnost, snadnou roztíratelnost a neměla by napadat základní lepidlivý materiál (naleptávat ho, měnit jeho zabarvení apod.). [3]

Po stránce chemického složení jsou lepidla buď látky přírodního původu (např. rostlinného, živočišného, minerálního), nebo syntetické sloučeniny (např. epoxidové, fenolformaldehydové, polyesterové). [3]

Pojem lepení znamená spojení dvou různých ploch, prostřednictvím lepidla (adheziva). Látka, která umožňuje přilnutí k povrchu pevných předmětů (adherentům) a tím jejich pevné spojení, které má dobrou přilnavost k oběma plochám (adheze). A jeho vlastní soudržnost (koheze) je předmětem stálého zájmu jak chemiků, tak i fyziků. [3]

### Teorie Adheze

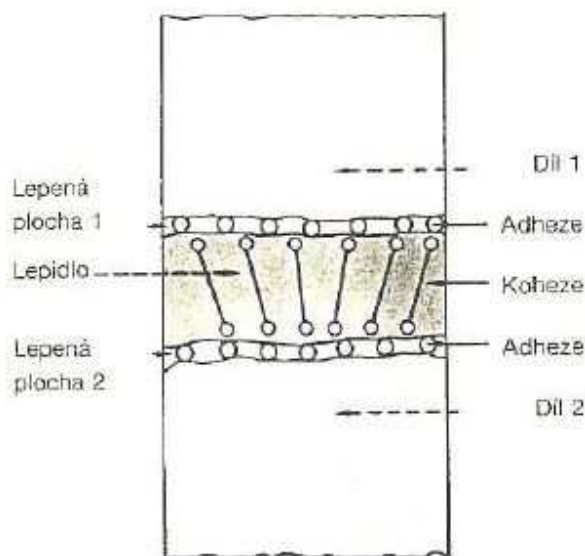
Je tedy vlastnost vyjadřující schopnost lepidla dostatečně přilnout k povrchu materiálu. Přilnavostí se rozumí vzájemné přitahování dvou povrchů adhezivními silami, souvisejícími s molekulární strukturou lepidla.

Jestliže lepidlo není schopno dostatečně pevně přilnout k materiálu, spoj nedrží a dochází k rozlepení, což je nepřijatelné. V tomto případě je vnitřní soudržnost lepidla (*koheze*) i vlastní pevnost materiálu vyšší než přilnavost (*adheze*). Na to proč vznikají adhezní síly existují dva teoretické modely vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem.[6][3]

- ❖ **Mechanická vazba** - tj. fyzikální princip lepení spočívající na drsnosti povrchu a smáčení. Důležitá je čistota povrchu lepicí směsi i spojovaných částí. Kapalné lepidlo zde zatéká do mikroskopických mezer a prohlubní v povrchu a je spojeno přímo se strukturou materiálu. Mechanická vazba je důležitá pro lepení materiálu

jako jsou dřevo, keramika nebo sklo. Naopak při lepení hladkých leštěných povrchů je mechanická vazba zanedbatelná.[11]

- ❖ **Chemická (specifická) vazba** - uplatňuje se u porézních a hladkých povrchů, tato teorie je založena na působení slabých van der Waalsových přitažlivých mezi molekulami lepidla a lepeného materiálu, ale především na přímém chemickém působení lepidla na lepených povrch. Proto se dobře lepí materiály, které mají reaktivní povrch, nebo povrch chemicky upraven tak, aby mohla proběhnout chemická reakce mezi lepidlem a povrchem za vzniku kovalentní vazby. Velmi dobře se lepí oxidované povrchy (kovy, plasty), povrchy přírodních polymerů (dřevo, papír) a další. Dále u skupin, které mají reaktivní povrch, nebo předem upravený povrch, tak aby mohli proběhnout chemické reakce v kovalentních vrstvách. Chemická vazba se nevytváří u špatně spojených povrchů jako nikl, zlato, aj. [11]

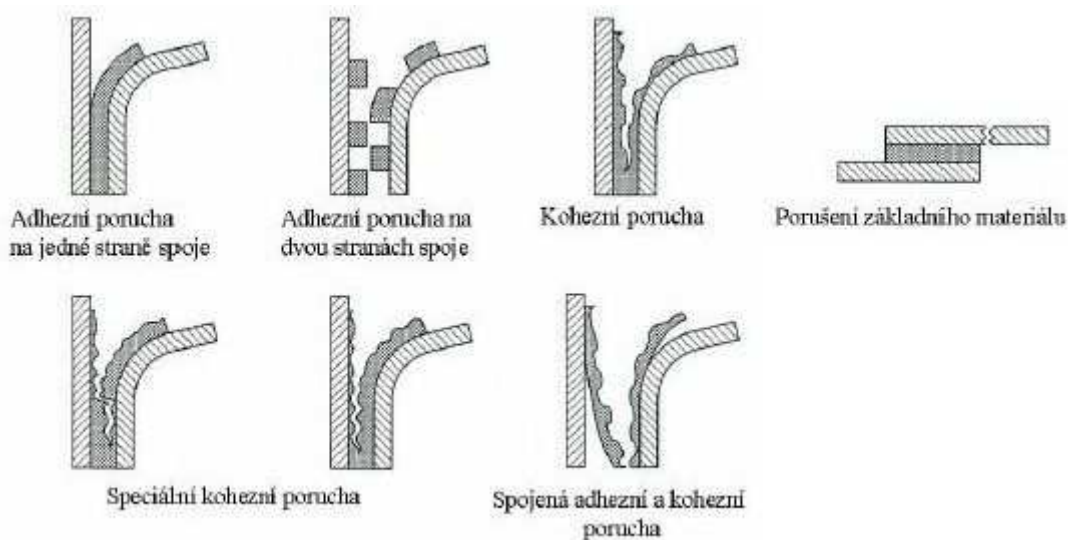


Obr.1 *Struktura lepeného spoje* [8]

### **Teorie koheze**

Vyjadřuje vnitřní pevnost lepidla. Popisuje stav látky, při kterém částice působením mezimolekulárních a valenčních sil drží pohromadě. Kohezní pevnost lepidla závidí na jeho složení a charakteru (např. dvousložkové epoxidy mají vysokou kohezi, naopak měkké akryláty nízkou kohezi). Velikost koheze udává potřebnou energii pro překonání sil mezi

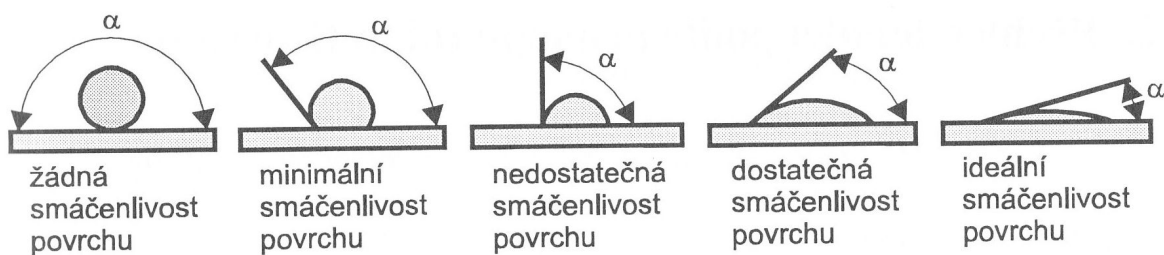
molekulami (vynaložená energie pro odtržení jednotlivých vnitřních částí). Koheze a adheze spolu určují základní srovnávací prvky, jak samostatného provedení spojení, tak i jeho zkoušení. [11]



Obr. 2. Adhezní a kohezní poruchy lepeného spoje dle ČSN ISO 10365 [8]

### Smáčivost

Charakterizuje povrchové napětí lepidla. Jestliže lepidlo není schopno se po lepeném povrchu rovnoměrně rozprostřít, žádná adhezní vazba nevzniká nevznikne. Smáčivost souvisí s polaritou lepeného povrchu a povrchovým napětím lepidla na povrchu. Pokud je jeho hodnota vyšší než u materiálu lepeného povrchu, pak nedojde ke smočení, neboť lepidlo se neudrží na lepeném materiálu a má tendenci po jeho povrchu klouzat. V opačném případě se na materiálu udrží a vytvoří tak vhodné podmínky pro spojení. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**



Obr. 3. Smáčivost povrchu [2]

## 1.2 Základní složení a vlastnosti lepicích prostředků

Většina používaných lepidel obsahuje tyto hlavní složky:

- ❖ **Pojidla** - Jsou to převážně organické látky, buď původu živočišného nebo rostlinného. Mohou to být materiály vyrobené syntetickou cestou. Pojidla jako hlavní složka všech lepidel vytváří po ztuhnutí nebo proběhnutí chemické reakce *lepený spoj*.
- ❖ **Rozpouštědla** - Jsou to látky, ve kterých jsou rozpuštěny pojidlové složky. Mají za úkol dokonale rozpustit pojidla, rychle se odpařovat a dobře smáčet lepené povrchy. Nesmí naleptávat základní materiál. Mezi rozpouštědla můžeme řadit (aceton, benzín, toluen a další)
- ❖ **Plnidla** - Nejsou rozpustná v rozpouštědlech, ale vytváří kostru pro pojidlovou složku, zvláště v místě větší vrstvy lepidla (např. ve spárách, šterbinách apod.). Zvětšují plochu pro pevné přilnutí lepidla a dokážou částečně zdrsnit plochu spoje. Jako plnidla se nejvíce používají anorganické látky (např. uhličitán vápenatý, křemičitá moučka, azbest apod.).
- ❖ **Změkčovadla** - Jsou to látky, které lepený spoj změkčují a zvláčňují, aby nebyl tvrdý a křehký, ale aby byl dostatečně pružný a aby při ohýbání, kroucení a jiných mechanických namáhání byl stále pevný a nepraskal. Přidáním změkčovadla se obvykle prodlouží doba vytvrzení lepicí vrstvy. Jako změkčovadla se nejvíce používají organické sloučeniny (např. glycerín, trikrezylfosfát apod.).
- ❖ **Tvrdidla** (katalyzátory) - Jsou to chemická činidla reagující s pojidlovou složkou lepidla. Při probíhající chemické reakci vznikají látky zcela odlišné od původních složek. Tvrdidla se používají především u syntetických lepidel a přidává se k základní pryskyřici jen ve velmi malém množství (např. 1 až 5 hmotnostních dílů tvrdidla na 100 hmotnostních dílů základní pryskyřice). Lepidlo s přimíchaným katalyzátorem má pak již omezenou životnost. Lepit se musí rychle, než skončí chemická reakce a lepidlo ztuhne. Katalyzátory nebo tužidla používají nejvíce epoxidová lepidla, polyesterová, polyuretanová a další. U každého lepidla, kde se používá tvrdidlo má svoje přípravné postupy. Při nichž pak dochází ke složité chemické reakci. Jako např. tvrdidlo P1 k epoxidovým lepidlům tvoří dietyléntriamin.
- ❖ **Urychlovače** - Jsou to sloučeniny používané spolu s tvrdidly v některých syntetických lepidlech. Urychlují chemickou reakci probíhající v lepidle, usnadňují tak jeho celkové zpracování. K lepidlům se přidávají v menším množství než tvrdidla a katalyzátory (např. 0,1 až 1 hmotnostní díl na 100 hmotnostních dílů základního

lepidla). K pryskyřici se přidávají až nakonec, po smíchání s tvrdidlem. Urychlovače jsou speciální organická činidla, např. P urychlovač I u polyesterových pryskyřic tvoří naftalen kobaltnatý v roztoku.

- ❖ **Různé speciální přísady** (aditiva) - Přidávají se k lepidlům pro zvýraznění některých vlastností nebo pro vytvoření nových. Aditiva však nesmějí ovlivnit lepící schopnost a pevnost spoje. K aditivům patří přísady vytvářející hydrofobní vlastnosti, antistatické vlastnosti (ruší nebo snižují náboj statické elektřiny vznikající na povrchu tělesa) nebo přísady zvyšující lesk hotového spoje a další. [3][4]

### **Ideální lepidlo by mělo:**

- ❖ zajišťovat dostatečnou pevnost spoje
- ❖ mít dostatečnou lepivost v tuhém stavu
- ❖ vlastnosti spoje by se neměly měnit v dostatečném teplotním rozmezí
- ❖ vytvořit spoj odolný vůči vnějším vlivům (vodě, povětrnostním podmínkám)
- ❖ při tvrdnutí se minimálně smršťovat a nevolňovat látky narušující podklad
- ❖ být bez zápachu a zdravotně nezávadné
- ❖ mít dobrou skladovatelnost
- ❖ vyžadovat minimální úpravy před lepením
- ❖ umožňovat jednoduché nanášení
- ❖ být cenově dostupné

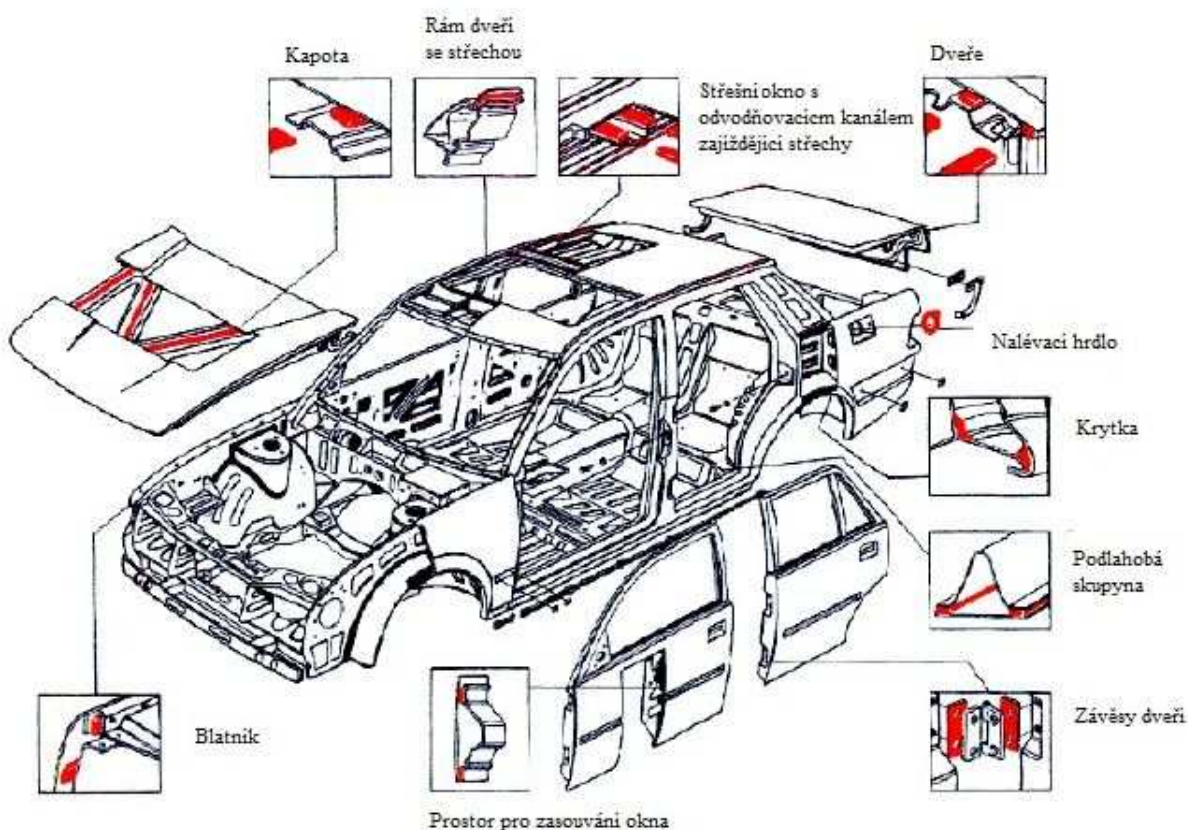
### **Definice pojmů v oblasti lepení:**

- ❖ **doba lepivosti** - rozsah doby, ve které si při určité vlhkosti a teplotních podmínkách zachová lepidlo po nanesení na lepenou plochu lepivost za sucha.
- ❖ **doba vytvrzení** - doba, během které je spojení vystaveno působení teploty nebo tlaku, nebo obojího, do okamžiku vytvrzení lepidla
- ❖ **doba zaschnutí** - doba, během které lepidlo na lepené ploše nebo na dílech zasychá působením nebo bez působení teploty nebo tlaku nebo obojího.
- ❖ **doba zpracovatelnosti** - časové rozmezí, ve kterém je lepidlo po smíšení s katalyzátorem, rozpouštědlem nebo jinými složkami vhodné k použití, zpracování.
- ❖ **doba zrání lepeného spoje** - časový interval mezi koncem působení teploty nebo tlaku nebo obojího, při obvyklých podmínkách lepení, a okamžikem dosažení přibližně maximální pevnosti lepeného spoje. Někdy se uvádí termín "doba stárnutí spoje".

- ❖ **lepivost** - vlastnost lepidla umožňující vytvoření lepeného spoje měřitelné pevnosti bezprostředně po lehkém přitlačení lepidla a lepených ploch.
- ❖ **vytvrzovat** - změnit fyzikální vlastnosti lepidla chemickou reakcí, kterou může být kondenzace, polymerace nebo vulkanizace obvykle dokončená působením tepla a katalyzátoru a to samostatně nebo za zvýšeného tlaku.
- ❖ **vytvrzovat (tuhnout)** - přeměnit lepidlo z kapalného do pevného nebo vytvrzeného stavu chemickým nebo fyzikálním působením, jako je kondenzace, polymerizace, oxidace, vulkanizace, želatinace, hydratace nebo odpaření těkavých složek.
- ❖ **manipulační pevnost** - doba po, které lze lepený spoj přenášet, bez rizika rozlepení

### 1.3 Význam a použití lepených spojů

Lepením se snadno spojují nejtenčí fólie, připevňují břitové destičky k nástrojům, spojují se součásti z neželezných kovů při výrobě chladicího zařízení, textilních strojů, vozidel a s kombinací bodovým svařováním se lepení používá i při stavbě letadel, kdy spoj má přibližně shodnou mez únavy jako spojený materiál. Lepení nahradilo tvrdé pájení při upevňování permanentních magnetů, které působením pracovní teploty snižovalo jeho magnetičnost. [5]



Obr. 4. Použití lepidel ve stavbě karoserií [12]

## 1.4 Konstrukce lepených spojů

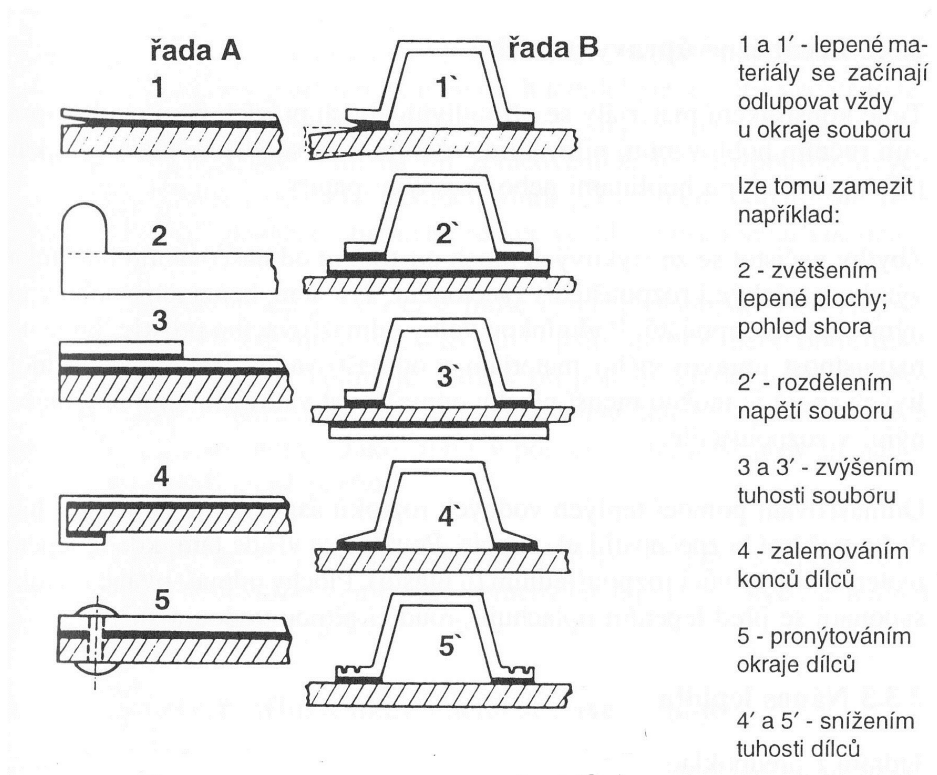
Aby si lepený spoj zachoval dlouhodobou spolehlivost a trvanlivost, je nutné přizpůsobit celou konstrukci tak, aby:

- a) mechanické namáhání bylo rozděleno rovnoměrně a nesoustředilo se pouze v místě spoje
- b) spoj byl zatěžován převážně namáháním v tahu a ve smyku a minimálně namáháním v odlupování (obr. 6), které je pro lepené spoje nejméně příznivé
- c) plocha spoje byla dostatečně velká a napětí bylo v celém lepeném spoji rovno měrně rozložené
- d) lepené materiály měly (v místě spoje) stejné nebo alespoň podobné koeficienty teplotní roztažnosti

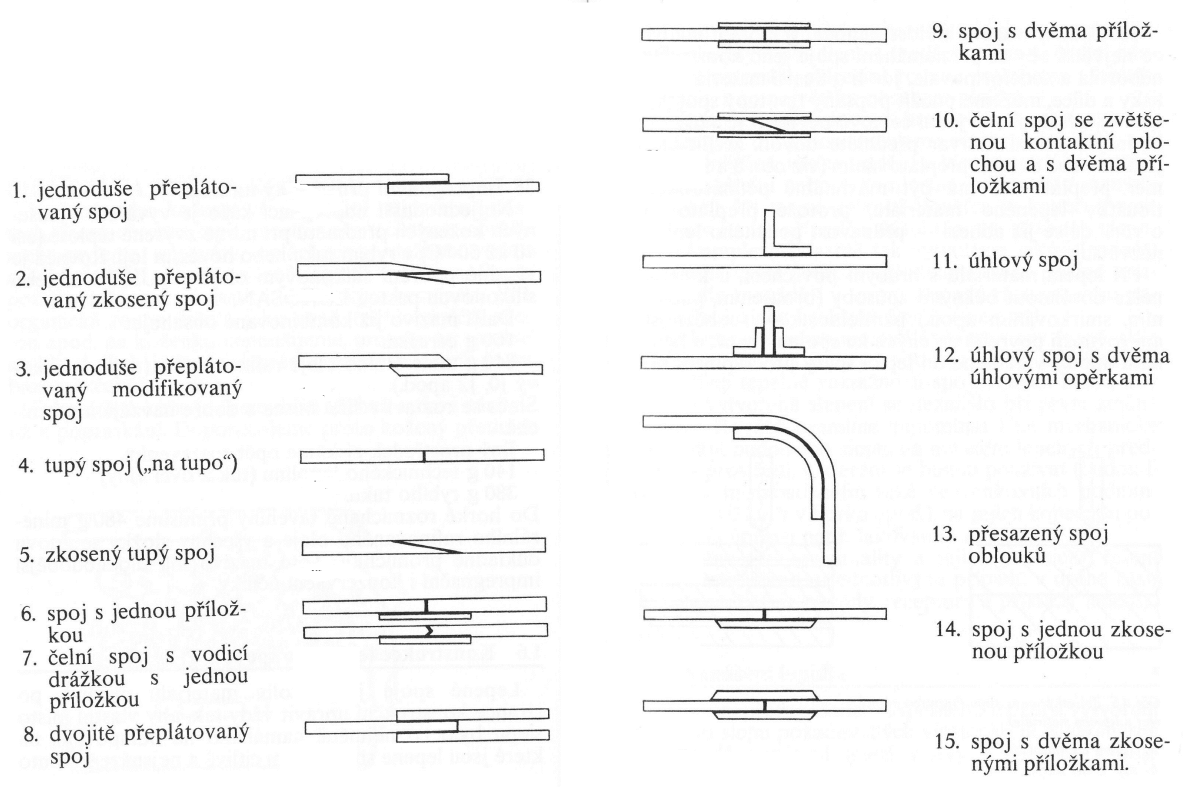
Právě koeficient teplotní roztažnosti bývá často při konstrukci podceňován, eventuálně vůbec nebrán v úvahu. V technické praxi se rozdíl koeficientů teplotní roztažnosti (především kovů) využívá v měřicí a regulační technice. Síla, kterou dvojkov vyvine, stačí k ovládní ventilů topných těles apod. Je tak velká, že jen málokterý lepený spoj její působení vydrží.

Jestliže dodržíme výše uvedená základní pravidla lepení z hlediska návrhu konstrukce, je množství vhodných variant konstrukčního řešení lepených spojů skutečně velké. Na (Obr. 6) je uvedeno několik případů.[2]





Obr. 5. Zajištění spoje proti odlupování [1]



Obr. 6. Základní rozdělení lepených spojů [4]

## 1.5 Pájení

Pájení je obdobou lepení, spoj drží pohromadě spíše slabými chemickými interakcemi bez výrazného promísení materiálu jako je tomu u svařovaného spoje. Je to takové spojení, při kterém nedochází k vzájemné rozpustnosti pájky a základního materiálu. Využíváme ho tehdy, jestliže při spojování nesmí dojít ke změně chemického složení spojovaných materiálů, jako je tomu např.: u výroby Si – diod. Adhezní spoj má dobrou elektrickou vodivost, ale horší pevnost ve smyku a ohybu.

Pájení je metalurgické spojení materiálů stejného nebo rozdílného chemického složení pájkou mající teplotu tavení nižší než spojované materiály. První podmínkou je dobrá smáčivost spojovaného materiálu tekutou pájkou. Povrchové atomy základního materiálu tekutou pájkou. Povrchové atomy základního materiálu a tekuté pájky se přitom dostanou do tak malé vzdálenosti, že vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil. Nejčastěji přitom dojde i k vzájemnému rozpouštění a difúzi některých prvků spojovaných materiálů. Adhezní povrchové spojení můžeme tak považovat za zvláštní případ pájení. Vlivem kapilárního tlaku, který se výrazně projevuje při mezerách menších než 0,5 mm, nastává tečení pájky v mezeře spoje všemi směry.

Ve své podstatě je kapilární pájení vcelku analogické s průtokem vody potrubím. V obou případech jde o tekutinu, která proudí mezi dvěma tuhými plochami. Při pájení je hnací silou kapilární tlak, který nutí tekutou látku (tavidlo) vyplnit mezeru všemi směry, naproti tomu ve vodorovném potrubí je to tlak čerpadla. Na základě této podobnosti byly aplikovány zákony hydromechaniky, s jejichž pomocí byly vysvětleny dvě charakteristické vlastnosti pájení - smáčivost a vzlínavost. Důležitou úlohu při pájení má povrchové napětí v dotkových plochách mezi tuhým materiálem, tekutou pájkou a tavidlem. Pájené spoje se používají především v elektrotechnice a klempířství.[9]

### Smáčivost

Smáčivost definujeme jako schopnost tekuté pájky přilnout k čistému povrchu spojovaného materiálu při určité teplotě. Naproti tomu roztékavost je schopnost tekuté pájky roztéci se při určité teplotě po vodorovném povrchu základního materiálu. Při smáčení nabude kapka roztavené pájky takového tvaru, při kterém je povrchová energie minimální a mohou tedy působit meziatomové síly. Smáčivost je první stadiem vzájemného fyzikálněchemického působení atomů roztavené pájky s povrchem pevného základního materiálu. Při smáčení začínají působit mezi atomární síly, jejichž účinkem vznikají na místech mezifázového

rozhraní vazby, které se rychle rozšiřují po celé ploše styku. Přitom se snižuje volná povrchová energie.

### **Vzlínání**

Vzájemné působení mezi kapalinou a kanálem o malém průměru nebo otvorem v pevném materiálu. Jakmile kapalina smočí stěny pevného kanálu, posunuje povrchové napětí kapalinu v kapiláře. Velikost kapilární síly se určuje podle zákonů hydromechaniky, které platí pro laminární proudění.

### **Metalurgické reakce při pájení**

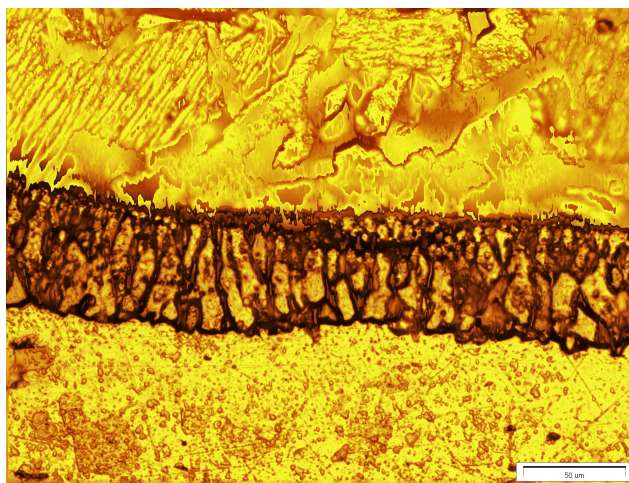
Podle druhu pájky a základního materiálu může nastat některá z těchto reakcí:

- ❖ adhezní spojení
- ❖ vzájemná difúze prvků pájky a základního materiálu
- ❖ rozpouštění základního materiálu použitou pájkou
- ❖ reakce složek pájky s povrchovými oxidy základního materiálu

### **Difúze**

Podmínkou vzniku difúze při pájení je přemístění atomů pájky a základního materiálu. Toto přemístování je podmíněno nehomogenitou složení. směr pohybu je dán gradientem koncentrace. Na difúzi mají vliv poruchy struktury, gradient teploty, apod.

Difúzní procesy v pevných kovech jsou závislé na typu a nepravidelnosti stavby jejich krystalické mřížky. U kovů s prostorově centrovanou kubickou mřížkou probíhá difúze rychleji než v kovech, které mají mřížku s nejhustším uspořádáním atomů. Součinitel difúze vzrůstá se zvyšováním hustoty poruch krystalické mřížky kovů.[9]



Obr. 7. Difúzní vrstva

## 1.6 Pájky

Pájka je kov, nebo eutektická slitina kovů, tající při nízké teplotě, určená k pevnému spojování materiálů z jiných kovů.

požadavky na pájky

- ❖ pájka má mít vždy nižší teplotu tavení než spojované kovy
- ❖ interval tavení pájky určené pro kapilární pájení má být úzký
- ❖ pájka na rozdíl od svařovacího drátu nemusí mít stejné ani podobné chemické složení jako spojované kovy
- ❖ pro kapilární pájení je nutné, aby pájka měla dobré pájecí vlastnosti (smáčivost, roztékavost, vzlínavost).
- ❖ prvky pájky a základního materiálu mají mít určitou rozpustnost a difúzní schopnost
- ❖ je výhodné když má pájka v roztaveném stavu malé povrchové napětí a nízkou viskozitu
- ❖ z důvodu pozdější možné koroze je výhodnější pájka, jejíž prvky mají malý rozdíl elektrochemického potenciálu ve styku s použitým základním materiálem
- ❖ pájka musí mít dobré mechanické vlastnosti, ale musí taky vytvářet pevné spoje
- ❖ z technologických důvodů se vyžaduje vhodný výrobní tvar pájky

**Podle teploty tuhnutí se pájky rozdělují na:**

Měkké - tavitelné při teplotách pod 450°C, obvykle cín nebo slitiny cínu a olova

Tvrdé - tavitelné při teplotách nad 450°C, obvykle slitiny mědi, hliníku a stříbra

### **Měkké pájky**

Se vyznačují především nízkou pracovní teplotou a zároveň i malou pevností. Proto se používají pro takové spoje, které nejsou pevnostně a teplotně namáhány. Měkké pájky jsou slitiny těžkých kovů, které se taví při nízkých teplotách, např. Sn, Pb, Cd, Sb, a Bi.

Tab. č.1 Měkké pájky cín-olovo

<b>Cín (Sn)</b> [%]	<b>Olovo (Pb)</b> [%]	<b>Teplota tání</b> [°C]	<b>Poznámka</b>
25	75	271	hrubá pájka pro stavební klempířské práce, tavení plamenem
30	70	262	totéž co výše
33	67	180-230	PM 33, totéž co výše, rozmezí teplot dáno povolenými příměsemi
40	60	240	pro pájení mosazi
50	50	220	pro pájení mosazi, elektroměrů, plynoměrů, dřívě i konzerv
60	40	190	pro pájení v elektrotechnice
63	37	182	pro pájení v elektrotechnice
90	10	220	dřívě užíváno v potravinářství

Používání pájek s obsahem olova je od roku 2006 zakázáno direktivou RoHS.

Tab. č.2 Speciální pájky s velmi nízkou teplotou tání

<b>Název</b>	<b>Cín (Sn) [%]</b>	<b>Olovo (Pb) [%]</b>	<b>Bismut (Bi) [%]</b>	<b>Kadmium (Cd) [%]</b>	<b>Teplota tání</b> [°C]	<b>Poznámka</b>
Roseův kov	15,5	32,5	52	0	96	
Woodův kov	13	26	48	13	70	
Lipowitzův kov	13,3	26,7	50	10	60	
Arcetův kov	25	25	50	0	92	ve směsi se rtuť má bod tání dokonce 45°C

### Bezolovnaté pájky

Počínaje rokem 2000 pod vedením hlavních elektrotechnických výrobců se *bezolovnatá pájka* začala zavádět do praktického použití. Používání bezolovnaté pájky se stalo hlavním proudem díky stoupajícímu globálnímu trendu otázek životního prostředí, jako je směrnice

RoHS (omezení používaných nebezpečných látek, která vstoupila v platnost v Evropské unii od 1. července 2006).

Bezolovnaté pájky mají jednu velkou nevýhodu, a to že jsou těžko spojitelná. Nepřítomnost olova (Pb) snižuje schopnost tečení pájky, což má za následek špatnou pájitelnost. Je známo, že špatnou pájitelnost nelze podstatně zlepšit zvýšením pájecí teploty. Vysoký bod tavení může vést k rychlejší oxidaci a erozi. Problémy s bezolovnatou pájkou je možno řešit použitím výrobků, které nabízejí speciální vlastnosti, jako jsou např:

- ❖ Přesná regulace teploty a vynikající rychlost tepelné obnovy jsou vlastnosti, které umožňují použití bezolovnaté pájky, aniž by bylo nutno nastavit vyšší teplotu.
- ❖ Rozstříkování pájky a tavidla je možno omezit vytvořením drážky v pájce.
- ❖ Zvolení vhodné pájecí lázně tak, aby doba potřebná k roztavení pájky byla co nejkratší.
- ❖ Použití čističe, pomáhají snížit oxidaci a odstraňují pájku z hrotu pájedla.[13]

### **Tvrdé pájky z těžkých kovů**

Tvrdé pájky se používají pro spoje, které jsou v provozu při teplotě +20°C vystaveny vyššímu mechanickému namáhání nebo pracuje-li pájená součást za zvýšených teplot. Hlavními složkami tvrdých pájek jsou drahé nebo běžné kovy.

#### **Tvrdé pájky:**

- ❖ na bázi mědi
- ❖ na bázi stříbra
- ❖ na bázi železa
- ❖ na bázi paladia
- ❖ pájky z drahých kovů

## **1.7 Tavidla**

Materiál, který čistí kovové povrchy od absorbovaných plynů, vrstev oxidů a ostatních látek znečišťujících povrch. Tavidlo vylepšuje smáčivost pájky omezením povrchového napětí mezi pájkou a substrátem.

Základní požadavky na tavidla:

- ❖ V co největší míře podporovat smáčení základního materiálu pájkou.

- ❖ Schopnost rozpouštět v maximální míře a co nejrychleji povrchové oxidy základního materiálu a pájky ještě před pájením, tj. reaktivnost tavidla. Základní fyzikálně chemické a termochemické údaje složek tavidel
- ❖ Stálost fyzikálně chemických vlastností při pájení, tj. příznivá viskozita, povrchové a mezifázové napětí, hustota, interval teplot tavení.
- ❖ Minimální tvorba zdraví škodlivých sloučenin, kovových par a plynů při pájení
- ❖ Snadná odstranitelnost zbytků tavidla po vychladnutí spoje

### **Funkce tavidla**

- 1) Tavidlo musí dobře smáčet základní materiál a pájku, tj. dobrou adhezi k povrchu
- 2) Účinná reakční teplota tavidla, tj. teplota tání musí být o 50 až 150°C nižší než je teplota tání pájky
- 3) Reakční rychlost působení tavidla. Do rychlosti, resp. doby působení tavidla se zahrnují veškeré reakce
- 4) Množství tavidla je závislé na tloušťce a rozsahu oxidických vrstev
- 5) Správná viskozita tavidla je důležitá pro výslednou jakost spoje. Viskozita tavidla má být minimální v oblasti pracovních teplot pájky až do teploty o 200°C nižší než je teplota solidu pájky z důvodu dobré roztékavosti a krytí pájky a také pro snadnou propustnost plynů
- 6) Tavidla s krystalickou strukturou mají lepší pájecí vlastnosti než tavidla se sklovitou strukturou. Krystalická struktura tavidel umožňuje odchod plynů ze spoje. U sklovité struktury jen při nízké viskozitě
- 7) Tavidlo má mít po dobu pájení stálé povrchové napětí
- 8) Hustota tavidla musí být vždy nižší než teplota pájky. Důvodem je vyplavení tavidla na povrch lázně
- 9) Tavidlo má mít dostatečnou chemickou účinnost a stabilitu nejen při teplotě místnosti z důvodu skladování, ale i při pracovních teplotách pájení
- 10) Interval tání tavidla má být minimálně o 50°C nižší než je teplota solidu pájky a minimálně o 50°C vyšší než je teplota likvidu pájky z důvodů využití aktivity tavidla.
- 11) Zbytky tavidla se musí dát po pájení snadno odstranit a nesmějí být příčinou koroze v případě že se neodstraňují
- 12) Tavidlo nesmí být zdraví škodlivé

Většina tavidel je při teplotě místnosti pevný, tuhý materiál, který se ohřevem taví. V mnoha případech je však vhodnější použít tavidlo ve formě pasty. Tavidla se dodávají ve formě

- a) prášku
- b) suspenze (emulze, roztok, pasta)
- c) plynu

### **Druhy tavidel**

dělíme tavidla podle způsobu pájení

- 1) měkké pájení
- 2) tvrdé pájení

dělíme tavidla podle účinku

- a) Tavidla s leptavým účinkem
- b) Tavidla bez leptavého účinku

### **Tavidla pro měkké pájení**

#### **Tavidla s leptavým účinkem – anorganická**

Nejčastější složení těchto tavidel. Zředěná kyselina solná nebo fosforečná, chlorid zinečnatý a chloridy alkalických kovů ve formě roztoků a past.

#### **Tavidla bez leptavého účinku**

V případech, kdy nelze korozi působící zbytky tavidel odstranit, se používají většinou tavidla organická. Základem těchto tavidel je kalafuna aktivovaná max. 1% organických halových sloučenin.

Kalafuna je destilát z pryskyřice borovic, získávaný při výrobě buničiny. Název je odvozen od starořeckého lydkého města Kolofónu, které proslulo spolu s Chiem především vývozem pryskyřice.

Chemicky jde o směs slabých organických kyselin. Při pokojové teplotě je nerozpustná ve vodě, s vysokým izolačním odporem a netečná vůči kovům. Taje mezi 60–80 °C, plně tekutá při 120 °C. V horkém stavu reaguje jako silná kyselina. Má schopnost rozrušit tenké vrstvy oxidů při teplotách 200 °C za 1–2 s. Reakční schopnost kalafuny neodpovídá moderním požadavkům, proto se přidávají aktivátory a další přísady, které zvětšují čisticí schopnost a zvyšují teplotní odolnost.

### **Tavidla pro tvrdé pájení**

Základní složkou tavidel pro pájení těžkých kovů jsou boritany – krystalický a bezvodý borax, kyselina boritá a jejich směsi.



Borax –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  dlouho používán jako základní složka tavidel pro tvrdé pájení. Jeho použití je opodstatněné u pájek s teplotou tání nad  $800^\circ\text{C}$ . Žárovzdorné oxidy rozpouští slabě. Je rozpustný ve vodě.

### Zvláštní druhy tavidel

**Plynná tavidla** – používá se pro pájení mosazi pájkami s pracovní teplotou nad  $800^\circ\text{C}$ .

Není vhodné pro kapilární pájení. Používá se při pájení karosérií.

**Pastovitá tavidla** – dobře se nanášejí drží i ve svislé poloze. Jejich skladovací doba je omezená, protože během času tvrdnou a vysychají

## 1.8 Konstrukce pájeného spoje

Při navrhování spoje je třeba vycházet z fyzikální podstaty a základních technologických podmínek vlastního pájení a z vlastností hotového výrobku. Požadavky na pájenou konstrukci se odlišují od požadavků na svařovanou konstrukci. Je třeba zabránit vysoké koncentraci napětí v pájeném spoji a zvolit správný druh pájky, který po pájení nemění své vlastnosti při dalších úpravách výrobku. Při výběru vhodného typu pájeného spoje má rozhodující úlohu druh, směr, velikost provozního namáhání a typ kombinace pájka – základní materiál. Z tohoto hlediska posuzujeme jednotlivé typy spojů používaných při pájení. [14]

Dle tvaru spoje dělíme druhy pájení:

*nánosové* - roztavená pájka je nanášena na spojované plochy

*kapilární* - součásti jsou vhodně zajištěny proti vzájemnému posunutí a do mezery je vložena pájka (např. ve formě zrn), po vložení do pece se pájka roztaví a dojde ke spojení.

### Rozdělujeme následující druhy spojů:

**Tupý spoj** – se používá v pro případy, kdy v místě spoje nesmí dojít k zvětšení průřezu.

Používají se dva druhy spojů : I-spoj pro materiály tenčí než 2 mm

V-spoj pro materiály tlustší než 2 mm

**Šikmý spoj** – je pevnější než I-spoj. Úhel skosení pájených ploch bývá  $45^\circ$  až  $60^\circ$  . Používají se pro spojování materiálů namáhaných ohybem.

**Přeplátovaný spoj** – je spolehlivější, výrobně jednodušší druh spoje. Používá se hlavně při spojování tenkých trubek a plechů.

**T-spoj** – používají se k pájení tlustších materiálů. Ohybový moment nemá takový vliv jako u tupého spoje.

**Kombinovaný spoj** – skládá se z kombinací uvedených spojů

**Prohýbané spoje** – využívá se jich při pájení plechů na měkko. Nevyžaduje se od nich pevnost, ale těsnost spoje proti plynům a kapalinám. [14]

Velmi obdobné konstrukce lepeného spoje (viz. Obr. 6).

## 1.9 Metoda pájení

### Pájení páječkou

Nejstarší a zároveň nejrozšířenější metoda měkkého pájení kovů (Cu, Ms, Pb, Zn, Fe). Využívá se hlavně v elektrotechnickém průmyslu, dále pak při instalaterských, klempířských a opravárenských pracích. Výhodou je rychlý přenos tepla do určitého místa spoje. V důsledku strmého tepelného průběhu dochází k ovlivnění základního materiálu pouze v nepatrné blízkosti spoje. To znamená, že nebereme v úvahu nebezpečí přehřátí u tenkostěnných materiálů.

Pájecí přístroj se skládá z kovového pájedla různého tvaru jež je připevněno k držadlu. Provozní teplota pájedla je 200 až 600°C.[9]

### Reakční pájení

Způsob pájení, při kterém se využívá reakčních schopností chemických sloučenin, které tvoří pájku. Tyto sloučeniny se při pájení rozkládají na kov a produkty, které mají funkci tavidla. Metoda je variantou měkkého kapilárního pájení hliníku, při kterém se pájka a tavidlo dostávají do spoje ve formě roztoku solí  $ZnCl_2$  a  $SnCl_2$  popřípadě jiných solí těžkých kovů ve směsi s destilovanou vodou. Tyto soli tají při nízkých teplotách. Při ohřevu materiálu pokrytého uvedenou směsí solí na dostatečnou teplotu nastává chemická reakce, při které oxid hlinitý na sebe váže chlor za vzniku chloridu hlinitého a uvolněná slitina Zn-Sn uskuteční spojení. Po pájení je třeba spoje opláchnout v 10% až 20% kyselině dusičné. Jinak dochází ke korozi spoje. Tato metoda v praxi nenašla velké uplatnění. Kvůli náročnému odstraňování zbytků po pájení a náchylnosti ke korozi.[9]

### Vtírací pájení

Druh nánosového pájení. Povrchová vrstva oxidů rozrušuje mechanickým škrábáním pod vrstvou roztavené pájky bez pomoci tavidla. Tato metoda je vhodná pro pájení hliníku.

Pájené plochy se nahřejí na teplotu tavení pájky. Pájka se vloží mezi ohřáté plochy, dochází k tavení pájky. Pod roztavenou pájkou se ocelovým kartáčem nebo ocelovým škrabákem odstraní vrstvy oxidů na povrchu. V okamžiku odstranění zoxidované vrstvy smáčí pájka očištěné místo a dochází ke spojení základního materiálu a pájky. Škrábání

materiálu pod vrstvou roztavené pájky se provádí z důvodu zabránění nové oxidaci spojovacího místa. Tímto postupem, však nelze odstranit celou vrstvu oxidů na povrchu, nastávají místa, kde nedojde k ideálnímu spojení. Intenzivním škrabáním se ztenčuje tloušťka materiálu. Vtírací pájení je spíše vhodné pro vyplnění nerovností hliníkových odlitek měkkou pájkou. Při opravách odlitek jsou velmi důležité přípravné práce. Je možné použít i více druhů pájek. Vtírací pájení je zdlouhavé a proto se používá pouze ve zvláštních případech.[9]

### **Pájení ultrazvukem**

Typ nánosového pájení bez použití tavidla. Při tomto způsobu dochází k rozrušení povrchové vrstvy oxidů v místě spoje kavitací, která vzniká působením ultrazvuku v roztavené pájce. Tato metoda je vhodná pro hliníkové slitiny. Používá se čistého cínu nebo pájek na bázi ZnCd, ZnSn, které lépe odolávají korozi než čistý cín. Při pájení musí být pájené místo kovově čisté a ohřáté. Pájený předmět se ohřívá často vnějším tepelným zdrojem. Ultrazvukové pájení předčí vtírací pájení z hlediska rychlosti, dokonalosti mechanických a elektrických vlastností spoje. Největší význam má metoda v elektrotechnice při spojování hliníkových vodičů. Můžeme ji využít i v opravárenství při vyplňování povrchových vad hliníkových odlitek.[9]

### **Pájení ve zvlněné cínové lázni (cínovou vlnou)**

Na vznik této metody pájení měl největší vliv vynález tištěných obvodů. Na spolehlivost těchto spojů působí mnoho činitelů. Důležitý je i způsob pájení zejména : jakost tavidla, čistota cínové lázně, doba a teplota pájení. Původně se pájelo jednorázovým ponořením do tekuté pájky. Avšak tento způsob byl pomalý a nastávaly závady v podobě náhlého odpaření tavidla, nedostatečná účinnost nebo tvorba krápníků. Tyto nevýhody nenastanou ve zvlněné lázni. Pájená deska se pohybuje buď vodorovně nebo šikmo a dotýká se hřebene vlny roztavené pájky. Vlna se tvoří pomocí trysky, kterou čerpadlo plní roztavenou pájkou. Omýváním pájené plochy roztavenou pájkou se rychle přenáší teplo.[9]

### **Pájení ponorem**

Je druhem kapilárního pájení, při kterém je lázeň ohřívána tepelným zdrojem. Vlastní pájení je velmi jednoduché . Součásti se ponoří na určitou dobu do lázně v závislosti na druhu, tvaru a množství pájených předmětů. Při měkkém pájení se součást ponoří do lázně na 3 až 10 sekund, při tvrdém pájení jeto 0,2 až 20 minut. Roztavená lázeň zabraňuje přístupu vzduchu, takže nemůže nastat povrchová oxidace.

Podle druhu taveniny rozeznáváme pájení:

- ❖ v solné lázni
- ❖ v lázni tavidla
- ❖ v kovové lázni

Výhodou je:

- ❖ rovnoměrný ohřev součást
- ❖ vyšší rychlost ohřevu
- ❖ ohřev probíhá bez přístupu vzduchu
- ❖ možnost spojení pájení s tepelným zpracováním
- ❖ lze pájet kusově nebo hromadně
- ❖ snadná mechanizace i automatizace

Nevýhodou je:

- ❖ pájené součásti musí být naprosto suché, aby nedošlo k explozi
- ❖ po pájení je nutno zbavit součást jemné vrstvy lázně

### **Pájení v peci**

Je druhem kapilárního pájení, při němž je ohříván celý objem součásti. Výhodou je, že se dá pájet více druhů součástí různého tvaru a různým počtem spojů najednou. Nevznikají vnitřní pnutí ani deformace, neboť je součást rovnoměrně ochlazována i zahřívána. Lze spojit pájení i s doplňkovými tepelnými zpracováními.

Podle druhů atmosféry rozeznáváme pájení

- ❖ v normální atmosféře za použití tavidla
- ❖ v normální atmosféře bez použití tavidla
- ❖ v redukční atmosféře

Volba způsobu pájení je závislá na druhu základního materiálu, počtu a rozměrech pájených součástí. Jelikož jsou náklady na pájecí zařízení poměrně vysoké, používáme pájení v peci pouze při pájení velkého množství drobných součástí nebo když velikost součásti vyžaduje ohřev v peci. Jsou to většinou případy kdy nejde spojování provést svařováním. Používají se pece komorové nebo šachtové s normální nebo s ochranou atmosférou.

### **Pájení ve vakuu**

Využívá se při výrobě dílů, které vyžadují vzduchotěsnost spojů. Používá se při výrobě proudových a raketových motorů, turbínových lopatek, oběžných kol turbokompresorů, tepelných výměníků a součástí pro jadernou techniku a měřicí přístroje. Jde o součásti vyrobené z žáruvzdorné, žáropevné a korozi-vzdorné oceli a kovů a jejich slitin, jako jsou např. Ti, Ta, Zr, Mo, Be, Co, W, Ni, Al. Pájení ve vakuu je vhodné i pro spojování grafitu a

keramiky. Nedochází k nadměrnému vzniku plynů v roztavené pájce ve spoji, ale naopak dochází k odplynění spojovacího materiálu a tím zlepšení jakosti spoje. Výhodou vakuové pece je rovnoměrný ohřev součástí na teplotu pájení metodou vícestupňového ohřevu. Tím se zabrání přehřátí, deformaci a vzniku vnitřních napětí v tenkých částech výrobku. Při tepelném zpracování je třeba regulovat rychlost ochlazování využitím umělého ochlazování pomocí neutrálního plynu Ar, N<sub>2</sub>. Po ochlazení následuje popouštěcí žíhání výrobku.

### **Pájení odporovým teplem**

Zdrojem tepla je elektrický odpor. Tímto způsobem lze vyrobit teplo rychle a pouze v oblasti spoje.

Rozlišujeme dva typy ohřevu dle elektrického odporu elektrod:

- ❖ ohřev s použitím kovových elektrod, které mají poměrně nízký elektrický odpor a teplo se vyvíjí přímo ve spojovaných materiálech. Používá při pájení materiálu s vysokým elektrickým odporem např. ocel.
- ❖ ohřev uhlíkovými elektrodami, které mají relativně vysoký elektrický odpor.

Teplo se vyvíjí v elektrodách a je předáváno materiálu v oblasti spoje. Používá při pájení vodivých materiálů např. měď.

Výhodou je:

- ❖ rychlý ohřev
- ❖ možnost mechanizace a automatizace
- ❖ vysoká produktivita práce

Nevýhodou je:

- ❖ prochází-li proud přímo pájenou plochou, působí neroztavené tavidlo jako izolant

### **Indukční pájení**

Teplo vzniká elektrickou indukcí a ta umožňuje bezdotykový ohřev součástí na teplotu pájení. Indukční ohřev se využívá i k povrchovému kalení. V oblasti spoje se musí dosáhnout rovnoměrného ohřevu obou spojovaných součástí na pracovní teplotu pájení. Proto je potřeba pomalý ohřev, aby se došlo k ohřátí celého průřezu spoje.

Výhodou je:

- ❖ rychlý ohřev za pomoci velkého měrného výkonu 0,5 až 2 KW . cm<sup>-2</sup>
- ❖ krátká doba pájení 2 až 120 sekund
- ❖ možnost pájení dlouhých, válcových dílů
- ❖ možnost mechanizace a automatizace
- ❖ kontrola tání tavidla a pájky

Nevýhodou je:

- ❖ potíže vznikající s náročností tvarů některých součástí

Vhodné pro sériovou výrobu součástí.

### **Pájení plamenem**

Místního ohřevu oblasti spoje na pájecí teplotu se dosahuje spalováním hořlavé směsi plynů. Pájení plynem se používá u součástí tvarově rozměrnějších dílů. Převládá ruční způsob. Nízké investiční nároky na pájecí zařízení a příslušenství.

### **Difúzní pájení**

Způsob spojování kovů pod tlakem při teplotě, která je nižší než solidus základního a přídavného materiálu, přičemž může vzniknout i tekutá fáze. Nejde o kapilární pájení. K difúznímu pájení jsou vhodné odporové svářečky. Nízký tlak 1 až  $3 \cdot 10^5$  a nízké teploty 0,7 až 0,8 teploty tavení spojovaného materiálu. Používá se proud 15000 A při frekvenci 50 Hz. Čas pájení bývá 20 až 50 cyklů. Atomy základního materiálu začnou difundovat a na rozdíl od difúzního sváření vytvářejí tekutou fázi, která přejímá funkci pájky.

## **1.10 Přednosti a nedostatky spojů**

### **Přednosti lepení**

- ❖ lepení dovoluje spojovat stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku
- ❖ aplikací lepidla není narušena celistvost konstrukce
- ❖ je možné připravit spoje vodotěsně a plynotěsně, čímž se lepení liší od spojů vytvářených šrouby nebo nýty
- ❖ není narušován profil ani estetický vzhled lepeného souboru
- ❖ lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru
- ❖ lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových dílů
- ❖ lepením se nezvyšuje hmotnost souboru (jeden z předpokladů miniaturizace)
- ❖ spoje můžou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené
- ❖ lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové houževnatosti

### **Nedostatky lepení**

- ❖ klade vysoké požadavky na rovnost a čistotu povrchu lepených dílců

- ❖ při spojování materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchu
- ❖ konstrukčně použitelné spoje nejsou rozebíratelné
- ❖ většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování
- ❖ životnost reaktivních lepicích směsí je omezena
- ❖ maximální pevnost spoje je dosaženo až po nějaké době
- ❖ odolnost vůči vyšším teplotám je omezena
- ❖ spoj z termoplastických lepidel je citlivý vůči dlouhodobému statickému namáhání (vede k tečení polymerní složky lepidla)
- ❖ skladovatelnost většiny lepidel je časově omezená
- ❖ lepení nelze provádět při nízkých teplotách

### **Přednosti pájení**

- ❖ možnosti spojení různých materiálů i těžko tavitelných
- ❖ možnosti spojení součástí s rozdílnou tloušťkou stěn
- ❖ pájecí teplota je nižší než svařovací, proto nedochází ke změně struktury, mechanických a jiných vlastností
- ❖ spoje jsou vodotěsné, elektricky a tepelně vodivé
- ❖ Pájením mohou být spojovány všechny běžné kovy, rovněž sklo a keramika

### **Nedostatky pájení**

- ❖ malá pevnost spoje, zejména při pájení na měkko
- ❖ nižší odolnost proti korozi vzhledem k rozdílným potenciálům pájky a základního materiálu
- ❖ vzhledem k malé toleranci spáry mezi materiály, je příprava spoje pracnější a tím i dražší
- ❖ nutnost použití tavidla nebo ochranného plynu
- ❖ nevhodné pro dlouhé spoje

## 2 Lepidla pro konstrukční spojení

### 2.1 Způsoby dělení lepidel

#### 1) Podle vytváření lepeného spoje:

- a) **roztoková nebo disperzní lepidla** – tuhnou vsáknutím a odpařením rozpouštědla. Nános těchto lepidel tuhne (vytváří film) vsáknutím a odpařením rozpouštědla. Základní předpokladem použití rozpouštědlových lepidel je poréznost a propustnost pro plyny alespoň u jednoho z lepených dílů. U roztokových lepidel je filmotvorná látka je rozpuštěna ve vhodném rozpouštědle (voda, líh, aceton). U disperzních lepidel filmotvorná látka je velmi jemná disperze polymerů ve vodě. Po vsáknutí a odpaření vody dochází ke slinutí polymerních částic v souvislý film. K tomuto slinutí může dojít jen nad minimální filmotvornou teplotu, která se pro různé disperze liší. Minimální filmotvorná teplota disperzních lepidel bývá kolem 10-12 °C.[2]
- b) **citlivá na tlak** – například lepicí pasty, spoj vznikne po lehkém přitlačení. V aplikační formě se s nimi setkáváme výhradně v kombinaci s různými nosiči ve formě jednostranných nebo oboustranných samolepicích pásek, fólií a tapet. U běžných typů samolepicích pásek (určených pro aplikaci v interiéru) bývá teplotní hranice použitelnosti obvykle do 60 °C. Pro aplikace v interiérech automobilů jsou dnes k dispozici oboustranné lepicí pásky a fólie s trvalou teplotní odolností 90, ale i 120 °C. Manipulační pevnosti spojů je dosaženo okamžitě po přitlačení dílů k sobě.[2]
- c) **tavná** – spoj vznikne ztuhnutím taveniny. Za normální teploty jsou to pevné látky termoplastického charakteru. Dodávají se v granulované formě pro průmyslové aplikace. Ke zpracování se roztaví při teplotě 120- 200 °C do kapalné formy. Manipulační pevnost spojů je dosaženo ihned po zchladnutí filmu lepidla ve spoji, obvykle během několika desítek sekund.[2]
- d) **vytvrzující chemickou reakcí (reaktivní lepidla)**
- ❖ lepidla tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí – v aplikační formě to jsou pastovité nebo kapalné monomery, které při kontaktu s vlhkostí, jež je přítomná na povrchu lepených materiálů, začínají polymerovat a mění se v plastickou hmotu (houževnatou až elastickou, podle druhu lepidla).[2]



- ❖ lepidla tuhnoucí kontaktem s kovy za nepřístupu vzdušného kyslíku (anaerobní). – v aplikační formě jsou to pastovitě nebo kapalné monomery, které po zamezení přístupu vzduchu do spoje začínají za katalytického působení kovových iontů polymerovat a mění se na houževnatou plastickou hmotu s vynikající adhezí ke kovům.
- ❖ lepidla tuhnoucí po přidání tvrdidel – dvou i více složkové systémy na bázi epoxidových pryskyřic nebo polyuretanů. Jednotlivé komponenty jsou dodávány v samostatných obalech a před aplikací se jednotlivé složky v předepsaném poměru promíchají (homogenizují). Připravená kompozice má různě dlouhou dobu zpracovatelnosti, zpravidla od několika desítek sekund po 2 - 4 hodiny (v závislosti na typu lepidla a teplotě prostředí).
- ❖ lepidla tuhnoucí zvýšenou teplotou – v aplikační formě jsou to kapalné nebo pastovité látky na bázi epoxidových, fenolických, močovinových nebo metalminových pryskyřic. Dodávají se v jednosložkové podobě (tvrdidlo v tzv. latentní formě je s pryskyřicí homogenizováno již při výrobě) nebo v dvousložkové podobě s tzv. pololatenčním tvrdidlem, které se s pryskyřicí homogenizuje před aplikací a vzniklá kompozice má dobu zpracovatelnosti několik dní. Tato lepidla vytvrzují obvykle při teplotách 80 - 200 °C. Používají se téměř výhradně v průmyslových aplikacích.[2]

## 2) Podle vytvrzovací reakce

Vytvrzovací reakce je možno dělit do tří typů:

- a) **Polykondenzace** – slučování většího počtu molekul stupňovitým mechanismem v makromolekuly, provázené odštěpováním jednoduchých molekul, například vody, alkoholu a podobně. Produkt polykondenzace má jiné elementární složení než výchozí monomery.
- b) **Polymerace** – je polyreakce, při níž se molekuly monomeru spojují řetězovým mechanismem v makromolekuly polymeru, aniž se odštěpuje voda nebo jiná jednoduchá látka. Produkt má většinou stejné elementární složení jako monomer.
- c) **Polyadice** – probíhá podle podobného reakčního mechanismu jako polykondenzace, totiž postupným mechanismem. Nedochozí však k odštěpování nízkomolekulární látky. Elementární složení polymeru je stejné jako složení monomeru.[6]

## 3) Podle dodací formy

- a) **Jednosložková lepidla** – jsou technologicky výhodnější. Pokud vytvrzují za laboratorní teploty, mají obvykle omezenou dobu skladovatelnosti. Při vytváření spoje za zvýšené teploty jsou to často prášky, které jsou nanášeny jako tavenina, nebo tají po dopadu na přehřátý kov. Jindy to bývají tyčinky, kusy, pasty nebo roztoky. Jednosložková lepidla mají zpravidla některé pevnosti spojů omezeny. Mezi jednosložková lepidla patří lepicí fólie.[6]
- b) **Dvousložková a vícesložková lepidla** – dvousložková konstrukční lepidla vytváří vysoce pevné spojení proto jsou nejrozšířenější skupinou lepidel vytvrzujících chemickou reakcí. [6]

## 2.2 Lepidla vhodná k lepení kovů

Při výběru lepidla pro lepení kovů musíme vycházet z toho, že jde o materiály zcela nepropustné. Z tohoto důvodu přicházejí v úvahu jen taková lepidla a metody lepení, které zaručují, že se v průběhu lepení neuvolní těkavé látky, které by snižovaly kohezi a adhezi filmu lepidla. Z tohoto důvodu nelze použít roztoková a disperzní lepidla. Výjimkou jsou kontaktní lepidla na bázi chloroprenového a polyuretanového kaučuku např. Alkapren, Chemopren a další. Běžně se k lepení kovů používají lepidla reaktivní. [15]

### Lepidla epoxidová

Pokud potřebujeme lepit rozměrnější plochy, překlenout velkou spáru ve spoji, vyplnit nerovnosti vzniklé nedokonalým opracováním lepených dílů a přitom získat pevné a stabilní spoje odolné povětrnostním vlivům, je proto ideální dvousložkových epoxidových lepidlech. K lepení kovů jsou vhodné systémy neplněné i plněné. Pro montážní lepení menších ploch nebo pro opravy si můžeme vybrat z řady rychlých systémů, které dosahují manipulační pevnosti za 2 až 10 minut.

Standardně vytvrzujících systémů je na trhu celá řada typů, neplněné i plněné práškovými plnivými (tzv. tekutý kov). Doba zpracovatelnosti připravené kompozice se liší u jednotlivých typů lepidel, obvykle bývá 30 minut až 3 hodiny. Manipulační pevnosti je dosaženo asi po 1 až 5 hodinách. Lze přibližně říci, že doba potřebná k dosažení manipulační pevnosti spoje je asi dvojnásobkem doby zpracovatelnosti připravené kompozice. Některé typy tekutých kovů je možné již po 5 až 6 hodinách mechanicky opracovávat - pilovat, vrtat, soustružit, frézovat.

U kovových konstrukcí nutné dodržet minimální velikost spáry. Neplněné systémy připouštějí minimální šířku spáry 0,1 mm, plněné systémy 0,2 až 0,3 mm. Abychom minimální velikost spáry dodrželi, je dobré použít distanční drátky.

Při výběru epoxidového lepidla k lepení kovů je pro nás důležitý údaj o pevnosti. Lepidla s pevností 20 MPa a více bývají označována jako vysokopevnostní. Zpravidla se udává pevnost ve smyku při zatěžování v tahu. S těmito hodnotami pevnosti je možné počítat u oceli a chemicky upravených hliníkových slitin. Výrazně nižších pevností dosahují epoxidová lepidla na mědi a jejích slitinách a na žárově nanášeném zinku (např. pozinkovaný plech). Obecně se dá říci, že čím vyšší je odolnost kovu vůči korozi, tím menších pevností lze s epoxidovými lepidly dosáhnout. Výjimkou je hliník a jeho slitiny - bez chemické úpravy povrchu je téměř nelze lepit, po dobře provedené mechanické a chemické úpravě povrchu jsou dosahované pevnosti spojů velmi dobré.

Teplotní odolnost epoxidových lepidel je od -50 do 80 až 150 °C. Při použití neplněných systémů může nastat pokles pevnosti již od 60 až 70 °C, plněné systémy jsou v tomto směru lepší. [15][2]

### **Lepidla polyuretanová**

Další skupinou lepidel vhodných k lepení kovů jsou dvousložková lepidla polyuretanová. Jsou zpracovatelná i za nízkých teplot a poskytují spoje pevné, pružné a odolné proti dynamickému namáhání, vodě (i mořské) a povětrnostním vlivům, zředěným kyselinám, olejům a různým rozpouštědlům. Nebývají tak citlivá na dodržení předepsaného směšovacího poměru jako lepidla epoxidová. Pevnosti se pohybují kolem 15 MPa, teplotní odolnost je obvykle do 100 °C.[2]

### **Lepidla Kyanoakrylátová**

Při lepení malých slícovaných povrchů lze použít kyanoakrylátová (vteřinová) lepidla. K těsnění a stabilizaci polohy rozebíratelných dílců slouží anaerobní akrylátová lepidla. Slouží výhradně k lepení kovů. Vytvrzují po zamezení přístupu vzduchu do spoje za katalytického působení kovových iontů. Pokud chceme lepit ke kovu nekovové díly, je nutné použít na nekovový díl aktivátor. Hlavní oblastí použití anaerobních lepidel je zajišťování šroubových spojů proti vibracím a korozi, těsnění závitových spojů, upevňování ložisek na hřídele i do otvorů, těsnění dělicích rovin. Akrylátová anaerobní lepidla se dodávají v několika pevnostních kategoriích od 5 do 40 MPa a v několika viskózních třídách, od kapilárních typů s maximální šířkou spáry 0,08 mm do tixotropních pastovitých typů s maximální šířkou spáry 0,5 mm. Pro plošné a elastické montážní lepení kovů se

v současnosti používají lepidla na bázi MS polymerů (Modified Silan), vyvinuta tak, aby byla schopna odolávat vysokým mechanickým napětím a přitom byla dostatečně pružná pro kompenzaci pohybu v případě slepení různorodých podkladů.

Patří mezi ty nejmodernější a mají široké uplatnění zejména v automobilovém, leteckém, lodním průmyslu, strojírenství apod. Jsou vhodná nejenom pro lepení kovů navzájem, ale také pro kombináční lepení zejména s plasty, pěnovým polystyrenem, glazovanými materiály, sklem, zrcadly, keramikou apod. [1][2]

### **Lepidla stále lepidla**

Tento typ lepidel má v aplikační podobě formu oboustranných lepicích fólií nebo pásek. Stále větší oblibu si získávají pro svou aplikační jednoduchost, schopnost překlenout nerovnosti povrchů lepených dílů (zejména u pěnových typů) a kompenzovat odlišné koeficienty teplotní roztažnosti lepených materiálů. Lze jimi lepit díly povrchově upravené galvanickým pokovením nebo nátěrovými hmotami. Dobře odolávají vibracím a výrazně přispívají k jejich tlumení.

Teplotní odolnost samolepicích pásek je standardně 60 °C, lze však běžně koupit i typy s teplotní odolností 90 až 120 °C.

Manipulační pevnosti spojů je dosaženo okamžitě po přitlačení dílů k sobě. Konečné pevnosti se dosahuje, v závislosti na typu pásky (fólie) a druhu podkladu, obvykle do 24 hodin. Doporučená teplota pro práci se samolepicími páskami je 15 až 30 °C.

Hlavní oblastí použití je lepení krycích panelů a plášťů, lepení kabelových žlabů a úchytek, schránek na dokumentaci a různých označovacích štítků.[2]

### **Lepidla Kaučuková (Chemoprén)**

Dělení kaučukových lepidel:

- ❖ **Nevulkanizační** – lepidla mají ve srovnání s vulkanizačními kaučukovými lepidly podstatně menší pevnosti spojů.
- ❖ **Vulkanizační** – Vulkanizační kaučuková lepidla obsahují vulkanizační přísady a vulkanizují obvykle v rozmezí teplot 140 až 150 °C. Lepidla jsou kromě vulkanizačních přísad ještě přidány aktivátory a urychlovače, umožňující vulkanizaci i za teploty 25 až 30 °C [6]

Hlavní požadavky na dobré rozpouštědlo pro výrobu kaučukového lepidla jsou zejména:

- a) rozpouštědlo nesmí mít nepříznivý vliv na kvalitu lepidla,
- b) musí být minimálně toxické,

- c) musí zaručovat co nejmenší nebezpečí vzniku ohně,
- d) nemělo by pokud možno zapáchat,
- e) mělo by mít vhodnou rychlost rozpouštění kaučuku a rychlost odpařování.

Tato lepidla se nanese na obě lepené plochy a nechají zaschnout, až jsou na dotek téměř nelepivá. Potom se lepené plochy přiloží k sobě a zatíží tlakem. Vysoká počáteční koheze filmu lepidla umožňuje poměrně pevné spojení pouhým přiložením ploch, tedy kontaktem. Odtud název kontaktní lepidla. Spoje (kov/kov) jsou náchylné na stříh, z toho vyplývá, že tato lepidla jsou vhodná k lepení krycích panelů, typových a ozdobných štítků atd. [2]

### 3 Technologie povrchových úprav kovů

#### 3.1 Čištění

O důležitosti správné přípravy povrchu k lepení jsme se již přesvědčili v pojednání o přilnavosti (teorie adheze). Kov se očistí buď pouze tzv. *suchou cestou*, např. otřením hadříkem, škrabkou či kartáčkem, nebo se omyje vhodnými roztoky saponátů nebo jiných emulgátorů, jako je Jar, Saponit, Kekord, Corona, tekuté mýdlo apod. Nestačí-li toto očištění i pro odmaštění, použijí se v následující fázi organická čištění (např.: technický benzín, perchlóretylén, toluen atd.).

Jindy se mohou využít tuhé, pastové nebo práškové čisticí prostředky na kovy, nanesené na kousek hadříku, které svým spojeným účinkem povrchy dokonale očistí a odmastí. Čistidla jsou buď univerzální, nebo speciálně zaměřená na ocel, železo, barevné kovy, lehké slitiny atd.

Je třeba si uvědomit, že i vynikající lepidlo mnohdy zklame a vytvoří nepevný spoj, nanese-li se na nedostatečně upravený a neočištěný podklad. Vždy se musí dodržet pokyny výrobce.[3]

#### **Odmašťování organickými rozpouštědly**

Používá se téměř všech rozpouštědel, pokud ovšem sama nejsou mastná. Jsou to např. IPA (isopropylalkohol), chlorované uhlovodíky, jako trichloretylén, tetrachlormetan, ketony jako aceton, metyletylketon (MEK) atd. Odmašťování rozpouštědly je zdánlivě snadné a jednoduché. Dobrého výsledku však dosáhneme teprve po několikerém odmaštění.

Velmi dobře se odmašťuje v lázni ohřáté pod bod varu rozpouštědla. Při jiném způsobu odmašťování lepenou plochu potíráme tampony vaty namáčené v rozpouštědle. Nejlepších

výsledků se dosahuje v odmašťovacích přístrojích. V přístroji se předměty umisťují nad lázni rozpouštědla, která je ohřátá nad bod varu. Páry rozpouštědla unikající z lázně se zkapalňují (kondenzují) na předmětech, rozpouštědlo odkapává a unáší s sebou nečistoty. Do přístroje vkládáme předmět bez mechanických nečistot, protože u nich by se povrch neodmastil. [7]

### **Čištění alkalickými prostředky**

K čištění se používá hydroxydu sodného, metakřemičitanu sodného, sody, nejčastěji však alkalického přípravku. K odmašťování se používá 5% roztoku a odmašťuje se 20 minut při teplotě asi 80 °C. Pak se předmět důkladně opláchne teplou tekoucí vodou. Někdy se na uschlém povrchu může objevit šedý mlhovitý povlak, který vznikl ze zbytku roztoku a ze solí, obsažených v tvrdé vodě. Povlaku se nemůžeme zbavit ani oplachováním ani dalším odmašťováním v lázni. Rozpustíme jej však v 10% roztoku kyseliny solné nebo sírové a pak opláchneme v čisté vodě. Prakticky nezáleží na tom, je-li voda použitá pro poslední oplach tvrdá. [7]

### **Odmašťování pastami**

Při opravách strojů se často stává, že je nutno odmastit poměrně malou plochu na velkém stroji, jsou to obvykle plochy s trhlinami ve stojanech strojů, v blocích motorů a podobně. Povrch bývá značně znečištěn olejem i mechanickými nečistotami, prachem, sazemi atd. Nejprve odstraníme s povrchu všechny usazeniny, abychom získali čistou kovovou plochu, avšak tu musíme ještě odmastit. Odmašťování v lázni není možné a odmašťování potíráním rozpouštědly bývá málo účinné proto, že z okolí se stále přivádí nová mastnota. V takovém případě se osvědčují odmašťovací alkalické pasty. Opravované místo i okolí několik minut potíráme pastou, kterou nakonec důkladně s povrchu setřeme. Zbytky pasty ještě umyjeme a opláchneme tak, aby oplachovaná kapalina nepřenesla na opravované místo novou mastnotu z okolí. [7]

Velmi účinnou pastu si můžeme připravit z vápna rozmíchaného v trichloretylénu. Touto kašičkou natřeme odmašťovanou zlochu a necháme ji tam tak dlouho, až důkladně vyschne. Potom suchý zbytek vápna oprášíme. Odmašťování je velmi vydatné, protože je tu kombinován účinek rozpouštědla s alkalickým účinkem.

### **Odmašťování kyselinami**

Pro odmaštění oceli se můžou používat kyselých odrezovačů. [7]

## 3.2 Úprava povrchu

Mírné zdrsňení představuje mělké zdrsňení kovového povrchu. Dosáhne se odíráním nebo otryskáváním a vede vždy ke zkvalitnění konečného slepu. Někdy se oděr nebo otryskávání používají pro vyhlazení hrubého drsného povrchu, jako při odlévání, nebo jsou prostě použity pro odstranění korozních zplodin nebo jiných forem znečištění.

### Odírání

Odírat lze mokrou nebo suchou cestou za použití buď brusného papíru odolného vodě (velikost částic 45  $\mu\text{m}$  až 106  $\mu\text{m}$ ) nebo trojrozměrného netkaného abraziva. Pro lepení musí být díly suché a musí se zvolit nejvhodnější postup lepení. Sušení lze urychlit ofukováním proudem čistého teplého suchého vzduchu při teplotě nepřevyšující 60 °C. [16]

### Otryskávání

Otryskávání za sucha je obvykle vyhrazeno pro kovové materiály. Při opatrném postupu, při kterém nedochází k nadměrné erozi, může však méně agresivní metoda být výhodně použita i při přípravě dílů plastů větších rozměrů. Existují zvláštní postupy zahrnující specializovaná otryskávací média, jako rozprášený oxid uhličitý a rozdrčené ořechové skořápky. V podstatě však jsou kovové díly obvykle připravovány otryskáváním za sucha za použití otryskávacích částic o velikosti 45  $\mu\text{m}$  až 106  $\mu\text{m}$ . Otryská se tak dlouho, dokud se upravovaný povrch nejeví jako stejnorodý. Na hliník, měď, korozivzdornou ocel a titan se nesmí použít železný nebo ocelový otryskávací materiál.

Otryskávání za mokra pod úhlem menším než kolmo k povrchu za použití otryskávacích částic < 20  $\mu\text{m}$  - rozptýlených ve vodě nebo ve vodní páře - může být účinné především u malých kovových dílů. Speciální systémy obvykle obsahují přísady rozpustné ve vodě. Aby se zabránilo dalšímu znečištění povrchu, je zapotřebí dodržovat doporučení výrobce. [16]

### Chemická úprava

Donedávna byla obvyklým předmětem mokré chemické úpravy oxidace povrchu. Protože však proces oxidace vyžaduje použití a likvidaci silných oxidačních činidel, začaly být a stále jsou vyvíjeny alternativní postupy používající pojiva. V současné době mají tendenci být založeny na silanové chemii.

Účinnost modifikace povrchu na bázi chemického působení závisí na pečlivosti při provádění jednotlivých procesů. Nejčastěji leptacích roztoků. Musí se však dodržovat základní požadavky, určené českou technickou normou dle ČSN EN 13887.[16]

<b>Materiál</b>	<b>Odmašť'ovadlo</b>	<b>Povrchová úprava materiálu před lepením</b>	<b>Vlastní lepení po povrchové úpravě materiálu do oxidace materiálu</b>
<b>Hliník a jeho slitiny</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400 anebo pískování oxidem hlinitým anebo chemické moření (vysoká pevnost).	do 1 hod.
<b>Litina</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 220–320, uhlová bruska anebo pískování.	do 15 min.
<b>Měď</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400.	do 15 min.
<b>Konstrukční a nerezové oceli</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400 anebo pískování.	ocel do 1 hod. nerez do 6 hod.
<b>Titan</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400 anebo pískování.	do 15 min.
<b>Hořčík</b>	MEK, aceton, IPA	Jemným pilníkem zdrsnit povrch.	do 15 min.
<b>Mosaz</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400.	do 15 min.
<b>Zinek</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400	–
<b>Cín</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400	do 15 min.
<b>Pochromované kovy</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400	–
<b>Pochromované kovy</b>	MEK, aceton, IPA	Vrstvu niklu mechanicky anebo chemicky odstranit.	–

Tab. č.3 Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením. [15]

## 4 Praktická část

### 4.1 Příprava lepidla

Ve všech případech je nutné dodržet předpis výrobce lepidla. Jednosložková lepidla zpravidla není potřeba před lepením upravovat. V případě dvousložkového lepidla je nutné obě složky dobře promíchat. V současné době již existují systémy pro přesné a automatické mísení a dávkování dvousložkových epoxidů, které je výhodné využívat při konstrukčních aplikacích zejména v průmyslu a řemeslné výrobě. U epoxidových lepidel závisí druh použitého tvrdidla na vytvrzovací teplotě.



## 4.2 Nános lepidla

Jedním z předpokladů vzniku soudržného spoje je i rovnoměrný, přiměřeně tlustý film lepidla ve spáře. Většina lepidel nabývá optimálních adhezních vlastností tehdy, neklesne-li tloušťka ztuhlého filmu lepidla ve spáře pod spodní limit 0,05 mm. jako horní limit tloušťky filmu platí vesměs hranice 0,25 mm. Je-li film mimo uvedené rozmezí, sníží se zpravidla prudce pevnost spoje. Není-li možné dosáhnout požadované rovnosti a souběžnosti lepených dílců (u cementových výrobků, sklolaminátů, izolační keramiky), je nutné pracovat buď s lepidly, nebo lepidly, nebo lepidly vložkami na bázi impregnovaných tkanin.

Množství nanášeného lepidla se udává v  $\text{g/m}^2$  lepené plochy. Limity spodní a horní hranice dávkování jsou zpravidla uváděny čísla 90 až 300  $\text{g/m}^2$ . Při zpracování lepidla může být spotřeba i vyšší, až 1000  $\text{g/m}^2$ . Pro zajištění požadované tloušťky filmu lepidla v mezích 0,05 až 0,25 mm se někdy, zejména při práci s reaktivními lepidly, vkládají do spáry distanční drátky o průměru 0,1 až 0,2 mm. Stejněho efektu se dosáhne příměsí 1 až 3% korundových zrn udané velikosti. [1]

Lepidlo musí být nanášeno v takovém stavu, aby v určitém momentu zpracování vytvořilo tekutou rozplývavou vrstvu, která smáčí mikropóry povrchu. Respektování této zásady je důležité zejména při zpracování lepidel rozpouštědlových i dvousložkových reaktivních lepidel, která při rychlém odpařování rozpouštědel nebo v průběhu chemické reakce rychle zvyšují svou viskozitu. [1]

Rovnoměrný nános lepidla po celé ploše spoje je naprosto samozřejmý. Jsou tu však další dvě možnosti, a to nános jednostranný, nebo oboustranný. Oboustranný nános lepidla je vhodný při použití lepidel rozpouštědlových a lepidel disperzních, při zpracování kontaktních rozpouštědlových lepidel je naprosto nutný. Jako první v pořadí se zásadně provádí nános lepidla na povrch méně porézní. [1]

## 4.3 Fixace lepených spojů

Důležitou operací před vyvození tlaku na spoj je zajištění (fixace) vzájemné polohy lepených dílců. Je nutné z toho důvodu, že mnoho lepidel v první fázi tuhnutí nejprve řídne, takže dílce nezajištěné proti posunu mohou snadno změnit polohu, zejména nejsou-li stykové plochy naprosto souběžné. K nežádoucímu posunu dílců může také dojít až po zavedení tlaku nebo po zvýšení teploty. [1]

Proti posunutí se spoj zajišťuje například vložení do přizpůsobeného přípravku, utažením mezi svorníky, zachycením lepicí páskou či podepřením. [1]

Správně zvoleným tlakem lze dosáhnout stejnoměrného rozvrstvení lepidla ve spáře a u poddajných hmot (například dřeva) i vyrovnání menších nerovností, které by bránily souběžnosti spojovaných ploch. Dalším účelem zatížení spoje je sledování hladiny lepidla mezi oběma lepenými povrchy, pokud lepidlo ve spáře neztuhne. Tlak musí zásadně působit kolmo na lepené plochy. Je třeba pracovat tak, aby lepidlo nebylo tlakem ze spáry zcela vytlačeno. Mírné krůpěj ovité přetékání po celém obvodu spáry je při správném nánosu znamením toho, že lepidlo bylo po celé ploše rozvrstveno stejnoměrně.

Při individuálních pracích postačí často zatížit větším závažím nebo sevřít truhlářskými šrouby. Při takto provedeném bodovém zatížení spoje nemají být přítlačná místa od sebe vzdálena více než 150 mm. [1][2]

#### **4.4 Zkoušení lepených spojů**

Abychom mohli porovnávat a vyhodnocovat kvality a ostatní parametry lepidel, musíme zvolit k tomu příslušnou metodu a určit kritéria. Jelikož každý typ lepeného spojení plní jinou funkci, je také důležité rozlišit, jakým způsobem je tento spoj zatěžován a k tomu bychom měli vybrat zkoušku, dle které budeme vyhodnocovat výsledné parametry.

Základní typy zkoušek:

- ❖ Zkouška pevnosti v tahu
- ❖ Zkouška lámavosti
- ❖ Zkouška rázové pevnosti
- ❖ Zkouška na únavu lepeného spoje
- ❖ Zkouška na pevnost odlupování

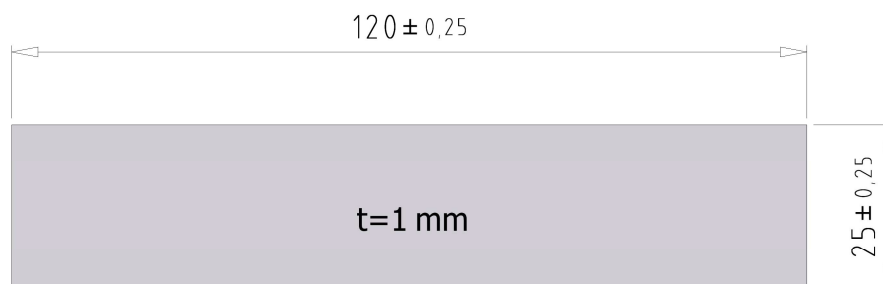
Smyková pevnost v tahu – podstata zkoušky stanovuje smykové namáhání jednotlivého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, na které působí zatěžující tahová síla. Vyhodnocuje se síla potřebná k přetržení tohoto přeplátovaného spoje, popřípadě napětí.

Zkouška lámavosti – zkoušený vzorek je podroben silám, snažící se o jeho zlomení statickým ohybem. Jde o pozvolné narušení soudržnosti při zatížení konstantní silou, která vyvolá defekt zkoušeného spoje.

## 5 Vlastní měření

### 5.1 Příprava vzorků

Pro přípravu vzorků byla zvolena konstrukční ocel třídy 11 373. Materiál by nastříhán na požadované rozměry.



Po nastříhání a začistění otřepů, následovalo odmaštění plíšků etanolem.

### 5.2 Úprava vzorků

Úprava vzorků před lepením patří k důležitým krokům zajišťujícím dosažení optimální pevnosti lepeného spoje.

Pro úpravu povrchu byly zvoleny následující prostředky:

#### 1) Fyzikální

- a) metoda pískování
- b) brusný papír
- c) metoda broušení ocelovým kartáčem

Při broušení vzorků je také důležité dodržet správný směr vytvořených nerovností na povrchu. Pro broušení byl zvolen směr podélný (směr působení síly) a příčný (směr kolmý na působení síly). Plocha, která má být obroušena je dána délkou přeplátování dvou vzorků. Vzorky byly broušeny ve dvojnásobné délce než délka přeplátování.

#### 2) Chemické

- a) kyselina sírová  $H_2SO_4$
- b) chlorid železitý  $FeCl_3$
- c) kyselina trihydrogenfosforečná  $H_3PO_4$

### **Vzorky broušené:**

- 3 vzorky – broušení ocelový kartáč na brusce
- 3 vzorky – broušení metodou pískování
- 3 vzorky – broušení brusným plátnem P 240

### **Vzorky po chemické úpravě:**

- 3 vzorky – *kyselina sírová*

Roztok se připraví následovně: 150 g kyseliny sírové se doplní vodou na objem 1 l [3].

Doba trvání v opalovací lázni 3 min.

- 3 vzorky – *chlorid železitý*

Roztok se připraví následovně: nasycený roztok chloridu železitého se smísí s vodou v poměru 1:1. Působení roztoku na vzorek po dobu 30 s.

- 3 vzorky – *kyselina fosforečná*

Roztok se připraví následovně: za stálého míchání se kyselina smísí v poměru 1:1 s vodou. Působení roztoku na vzorek po dobu 3 min.



Obr. 8 Lázeň kyseliny fosforečné

### 5.3 Výběr a stanovení tloušťky lepidla

Pro lepení vzorků bylo vybráno lepidlo *3 -TON EPOXY ADHESIVE*.

Je to dvousložkové velmi pevné epoxidové lepidlo s kovovým plničem. Vhodný pro lepení kovů, keramiky a dalších materiálů.

#### Technická data:

- ❖ Vzhled: šedá pasta
- ❖ Viskozita  $10^6$  (cP/25 °C)
- ❖ Zpracovatelnost 30 min
- ❖ Manipulační pevnost 90 min
- ❖ Funkční pevnost (hod): 14
- ❖ Tvrdost 80 Míchací poměr 1 : 1 (Shore-D)
- ❖ Tepelná odolnost -20 °C do +120 °C

#### Stanovení tloušťky lepidla:

Optimální doporučená tloušťka lepené vrstvy při použití epoxidového lepidla je v rozmezí od 0,05 mm až do 0,4 mm. Na základě výrobce byla stanovena pro toto měření tloušťka 0,1 mm. K dosažení rovnoměrné tloušťky vrstvy lepidla byly použity distanční drátky.

### 5.4 Lepení vzorků

Po důkladném odmaštění jednotlivých částí následovalo vytvoření zkušební vzorku (slepení dvou stejných plechových částí k sobě). Lepidlo bylo připraveno důkladným promícháním obou složek lepidla v předepsaném směšovací poměru. Poté se lepidlo stěrkou rovnoměrně nanaslo na povrch vzorku a byly vloženy distanční drátky. Přeplátování tvořilo 25 mm z celkové délky plíšku. Po slepení se vzorky pevně zafixovaly a zatížily tlakem  $p = 0,2$  MPa. Po uplynutí 24 hodin byly vzorky připraveny k měření.

Ještě než došlo k samotnému měření bylo zapotřebí odbrousit okrajové přebytky lepidla.



Obr. 9 *Lepený vzorek*

## 5.5 Zkoušení vzorků

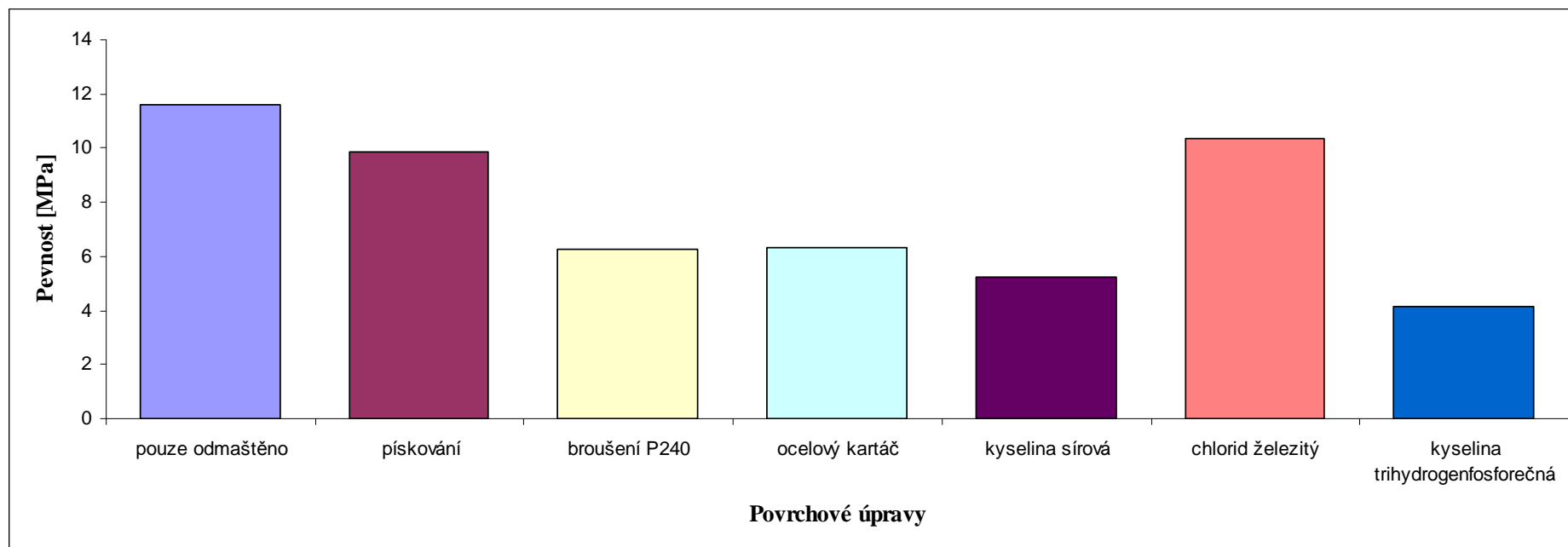
Zkouška vzorků proběhla na zkušebním stroji ZD – 10/90 se záznamem dat v počítači. Zkoušení dle ČSN EN 1465 spočívá v namáhání jednoduše přeplátovaných slepených vzorků tahovou silou do jejich přerušení. Pevnost se stanoví smykovým namáháním jednoduchého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, které jsou namáhány tahovou silou. Napětí nebo deformace lepeného spoje musí vzrůstat konstantní rychlostí. Výsledkem je naměřená nejvyšší síla [N] nebo napětí [MPa] při porušení spoje.

## 5.6 Vyhodnocení výsledků

Na základě naměřených hodnot byl sestaven graf. Výsledky zkoušek se vyjádřil jako aritmetický průměr měřených vzorků se stejnou povrchovou úpravou. Pro každou povrchovou úpravu byly použity 3 vzorky.

ZKOUŠKA	PEVNOST Rm [MPa]
pouze odmaštěno	11,58
pískování	9,88
broušení P240	6,27
ocelový kartáč	6,32
kyselina sírová	5,23
chlorid železitý	10,33
kyselina trihydrogenfosforečná	4,15

Tab. 4. Výsledky zkoušky



Graf č.1. Pevnost ve smyku z různou povrchovou úpravou

Z výsledku měření je patrné, že vhodná úprava povrchu vzorku je pouhým odmaštěním kdy, je vzorek dokonale očištěn s hladkým povrchem. Při použití chloridu železitého vzniká vrstva oxidu železa, která může působit jako konverzní vrstva. V případě použití naleptáním povrchu vzorku kyselinou sírovou a kyselinou trihydrogenfosforečnou má vrstva nevhodné složené pro navázání lepidla. Nebo je příliš silná a dojde k jeho adheznímu odloupení.

Zvýšení adheze u chloridu železitého je pevnost spoje vysoká, což může být důsledkem vytvoření vhodné drsnosti povrchu nebo vzniku vrstvičky o příznivém přilnutí lepidla.

V případě povrchů chemicky neupravených rozhoduje o adhezi drsnost povrchu, která musí být vhodný pro dobrý kontakt lepidla a povrchu.

Pro nejpříznivější spojení lepidla a materiálu jsou nevhodnější povrchy velmi hrubé a velmi hladké. Navíc při čištění povrchu ocelovým kartáčem dochází ke kontaminaci povrchu (zanášení nečistot)



Obr. 10 Vzorek po přerušení spoje



## Závěr

Tato práce se zabývá základy lepení kovů, spolu s porovnáním jiné metody spojování. Zde byla zvolena metoda pájení.

V dalším kroku je zde uvedeno základní rozdělení lepidel vhodné k lepení kovů, společně s jednotlivými druhy úprav povrchů a nesmíme zapomenout na samotné lepení.

Hlavním cílem této práce bylo zjistit nejlépe vhodnou úpravu povrchů materiálu pro lepení kovů epoxidovým lepidlem 3 - TON Epoxy Adhesive. Při měření na zkušebním zařízení byla zaznamenávána maximální síly při porušení vzorku, potom byla také vypočtena pevnost spoje [MPa]. Měření bylo provedeno na jednadvaceti vzorcích. Výsledky zkoušek se stejnou povrchovou úpravou byly aritmetický průměrovány a výsledky byly poté srovnány s jednotlivými metodami povrchových úprav.

Experiment měření přineslo zajímavé výsledky. Z grafu je patrné že nejlépe vyhodnocený vzorek se ukázal pouhé odmaštění, kdy vzorek je dokonale čistý a hladký. Druhým nejlépe hodnoceným vzorkem za použití chemické úpravy povrchu byl chlorid železitý. Díky jeho zvýšení adheze, což mohlo být důsledkem vytvoření vhodné drsnosti povrchu nebo vzniku vrstvičky o příznivém přilnutí lepidla.

Výsledky z této práce mohou být podle mého názoru podkladem pro další zkoumání v oblasti problematiky lepených spojů.

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] OSTEN, Miloš: Práce s lepidly a tmely, Praha: Grada Publishing, 1996. 129 s. ISBN 80-7169-338-3
- [2] POKORNÝ, Jiří: Lepení a tmelení v dílně i domácnosti, Praha: Grada Publishing, 2000. 104 s. ISBN 80-7169-857-1
- [3] ŠKEŘÍK, Jan: Receptář pro elektrotechnika, Praha: SNTL, 1988. 554 s.
- [4] ŠKEŘÍK, Jan: Lepíme, tmelíme, lakujeme, Praha: Albatros, 1984. 335 s. ISBN 13-765-84
- [5] HRDLIČKOVÁ, D.: Strojírenská technologie III, Praha: SNTL, 1982. 167 s.
- [6] PETERKA, Jindřich: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, Praha. SNTL, 1980. 777 s.
- [7] MELEZÍNEK, O.: Lepení kovů ve strojírenství
- [8] PETRIE, E. M.: Handbook of Adhesives and Sealants. McGraw-Hill, New York USA, 2000, ISBN 0-07-049888-1
- [9] Viliam Růža CSc; Pájení, STNL-Nakladatelství technické literatury Praha 1988
- [10] <http://www.efd-inc.com/Intl/CZ/Pajky/slovník-pojmu-oblasti-technologie-pajeni/>
- [11] ABC lepidla [online]. [2011] [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.abclepidla.cz/pdfs/Zaklady\\_teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/pdfs/Zaklady_teorie_lepeni.pdf)>
- [12] Lepení [online]. [2011] [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW.  
<[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/lepeni.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf)>
- [13] Pájení [online]. [2011] [cit. 2011-05-15]. Dostupný z WWW.  
<<http://www.hakko.cz/bezolovnate-pajeni.html>>
- [14] Pájení [online]. [2011] [cit. 2011-05-16]. Dostupný z WWW.  
<[http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD13\\_prez\\_etace.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD13_prez_etace.pdf)>
- [15] Lepení kovů [online]. [2011] [cit. 2011-05-20]. Dostupný z WWW.  
<<http://www.uhu.cz/lepeni-kovu>>
- [16] ČSN EN 13887 Konstrukční lepidla – Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [17] ČSN EN 1465 Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav. Zlín: Úřad pro technickou normalizaci, 2009.

## Seznam použité obrázků, tabulek a grafů

### Obrázky:

- č.1. Struktura lepeného spoje
- č. 2. Adhezní a kohezní poruchy lepeného spoje dle ČSN ISO 10365
- č. 3. Smáčivost povrchu
- č. 4. Použití lepidel ve stavbě karoserií
- č. 5. Zajištění spoje proti odlupování
- č. 6. Základní rozdělení lepených spojů
- č. 7. Difúzní vrstva
- č. 8. Lázeň kyseliny fosforečné
- č. 9. Lepený vzorek
- č. 10. Vzorek po přerušení spoje

### Tabulky:

- Tab. č.1. Měkké pájky cín-olovo
- Tab. č.2. Speciální pájky s velmi nízkou teplotou tání
- Tab. č.3. Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením.
- Tab. č.4. Výsledky zkoušky

### Grafy:

- Graf č.1. Pevnost ve smyku z různou povrchovou úpravou