



eská země d Česká univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

# Pájení tenkých plech m kkými pájkami

Diplomová práce

Vedoucí práce: Prof. Ing. Milan Bro0ek, CSc.

Autor práce: Bc. Tomáz Veselka

PRAHA 2013

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Veselka Tomáš

Obchod a podnikání s technikou

### Název práce

Pájení tenkých plechů měkkými pájkami

### Anglický název

Soldering of thin sheets using soft solders

### Cíle práce

- shromáždit informace o vyráběných a na tuzemský trh dodávaných typech měkkých pájek a jejich použití v praxi,
- experimentálně stanovit pevnost spojů vybraných kovových materiálů pájených měkkými pájkami různých typů.

### Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíle práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

### Osnova práce

1. Úvod.
2. Podstata pájení, výhody a nevýhody, použitelnost v praxi.
3. Přehled měkkých pájek na tuzemském trhu.
4. Experimentální stanovení pevnosti spojů vybraných kovových materiálů pájených měkkými pájkami různých typů.
5. Závěr.

#### Rozsah textové části

60 stran

#### Klíčová slova

měkké pájky, technologie pájení, zkoušení pájených spojů

#### Doporučené zdroje informací

BLAŠČÍK, F. aj.: Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania. Bratislava, ALFA 1987.  
BÖHLER UDDEHOLM CZ spol. s r.o.: Pájení. Praha, Böhler Uddeholm CZ spol. s r.o. 2003.  
BROŽEK, M. – NOVÁKOVÁ, A.: Mechanické vlastnosti mřagkovo svincovo i mřagkovo bessvincovo pripoia. Vestnik MGAU, im. V. P. Gorjačkina, Agroinženierija. 4 (35), 2009.  
MANKO, H. H.: Solders and soldering. New York, MacGraw-Hill 1964.  
ROBERTS, P.: Industrial brazing practice. Boca Raton, CRC Press 2004.  
RUŽA, V.: Pájení. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha, NTL 1988.  
STEDFELD, R. L.: Metals handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9. ed. Metals Park, Oh., American Society for Metals, 1983.  
WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003.  
Normy ČSN, ČSN ISO, ČSN EN, DIN, BS, ASTM, ASME, GOST, ...  
Časopisy: MM Průmyslové spektrum, SDSM (Svařování, dělení, spojování materiálů), Strojárstvo / Strojírrenství, Svět svaru, Technický týdeník, Technik, Zváranie / Svařování.  
Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace.

#### Vedoucí práce

Brožek Milan, prof. Ing., CSc.

#### Termín zadání

listopad 2010

#### Termín odevzdání

duben 2012



Vedoucí katedry



V Praze dne 31.1.2011



Děkan fakulty



**PDF Complete**

*Your complimentary use period has ended.  
Thank you for using PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## Prohlázení

Prohlázuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Prof. Ing. Milana Brožky, CSc. Použil jsem pouze zdroje, které jsou uvedeny v kapitole „Použitá literatura“. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne:

Podpis autora: \_\_\_\_\_



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## Podkování

Tímto bych chtěl podkovat za poskytnutí cenných informací a rad vedoucímu diplomové práce panu Prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. Dále bych chtěl také podkovat paní Alexandru Novákovou za seznámení a vysvětlení provozu univerzitních laboratoří.



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Cílem diplomové práce je shromáždít informace o vyráběných a na tuzemský trh dodávaných typech měkkých pájek a jejich použití v praxi. Dále je cílem diplomové práce experimentálně stanovit pevnost spojů vybraných kovových materiálů pájených měkkými pájkami různých typů.

Klíčová slova: měkké pájky, technologie pájení, zkouzení pájených spojů

The aim of this thesis is to gather information on manufactured and supplied to the domestic market types of soft solders and their use in practice. Furthermore, the aim of the thesis experiment the strength of the joints soldered selected metallic materials for various types of soft solders.

Keywords: soft solder, soldering technology, testing of solder joints

1. Úvod .....	9
2. Podstata pájení, výhody a nevýhody, použitelnost v praxi.....	10
2.1. Historie pájení .....	10
2.2. Podstata pájení a jeho význam .....	10
2.2.1. Použití pájení .....	10
2.2.2. Fyzikální podstata pájení.....	13
2.3. Smáčivost a roztékavost.....	14
2.4. Vzlínavost .....	16
2.5. Difúze.....	16
3. Pohled na různé pájky na tuzemském trhu.....	17
3.1. Charakteristika pájek .....	17
3.2. Druhy pájek .....	18
3.2.1. Měkké pájky .....	18
3.2.1.1. Měkké pájky bezolovnaté.....	19
3.2.1.2. Měkké pájky olovnaté .....	21
3.2.2. Tvrdé pájky.....	26
3.2.2.1. Stříbrné pájky.....	26
3.2.2.2. měďné pájky .....	28
3.2.2.3. Pájky pro vakuové pájení .....	28
3.2.2.4. Niklové pájky.....	29
3.2.2.5. Paládiové pájky.....	30
3.3. Tvary pájek.....	30
4. Tavidla .....	31
4.1. Všeobecné a termochemické požadavky na tavidla .....	33
4.2. Funkce a vlastnosti tavidla .....	35
4.3. Druhy tavidel.....	35
4.3.1. Tavidla pro měkké pájení.....	37
4.3.2. Tavidla pro tvrdé pájení .....	38
5. Vlastnosti pájených spoj .....	39
5.1. Jakost pájeného spoje.....	39
5.1.1. Stárnutí materiálu.....	39
5.1.2. Mechanické namáhání.....	40
5.1.3. Teplotní namáhání .....	40
5.2. Trvanlivost pájených spoj .....	40
5.3. Mechanické vlastnosti.....	40
5.3.1. Statické namáhání .....	40
6. Konstrukce pájených spoj .....	41
6.1. Tupý spoj.....	41
6.2. Úhelný spoj.....	42
6.3. Pevně přelátovaný spoj .....	42
6.4. T-spoje .....	42
6.5. Kombinovaný spoj.....	42
6.6. Prohýbané spoje.....	43
7. Pracovní podmínky pájení .....	43
8. Způsob pájení .....	43
8.2. Pájení pájkou.....	43

8.4. Vtlačí pájení .....	44
8.5. Pájení ultrazvukem .....	45
8.6. Pájení vlnou .....	45
8.7. Pájení ponorem .....	46
8.8. Pájení v peci .....	46
8.9. Pájení ve vakuu .....	47
8.10. Pájení odporovým teplem .....	48
8.11. Indukční pájení .....	48
8.12. Pájení plamenem .....	49
8.13. Difúzní pájení .....	50
8.14. Pájení infračervenými paprsky .....	50
8.15. Exotermické pájení .....	51
8.16. Pájení elektrickým obloukem .....	51
8.17. Pájení horkým vzduchem .....	51
9. Materiály vhodné pro pájení .....	52
9.1. Pájení m. di. ....	52
9.1.1. Pájení slitin m. di. ....	53
9.2. Pájení hliníku .....	53
9.3. Pájení oceli .....	55
9.3.1. Konstrukční oceli nelegované .....	55
9.3.2. Konstrukční oceli legované .....	56
9.4. Pájení litiny .....	57
10. Ekonomika pájení .....	58
11. Experimentální stanovení pevnosti spojů vybraných kovových materiálů pájených metodymi pájkami různých typů .....	60
11.1. Příprava vzorků .....	60
11.2. Příprava a metoda pájení .....	60
11.3. Zkouška tahem .....	62
11.4. Vyhodnocení naměřených hodnot .....	64
11.5. Výsledky experimentů .....	65
7. Použitá literatura .....	72





Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Cílem této diplomové práce je poskytnout informace o vyráběných a na tuzemský trh dodávaných typech mkkých pájek a jejich použití v praxi. Dalším cílem diplomové práce je experimentálně stanovit pevnost spoj vybraných kovových materiál pájených mkkými pájkami různých typů. V rámci této práce bude experimentálně naměřena pevnost pájených spoj pozinkované oceli na trhacím stroji. Bude naměřena pevnost spoj pozinkované oceli o rozměru 10X2 cm a tloušťky 0,8 mm. Experimentálně budou vyzkoušeny následující mkké pájky: Sn63Pb37, S-Sn96Ag4, S-Pb48Sn32Bi. V této diplomové práci bude vysvětlena podstata pájení a budou uvedeny výhody a nevýhody pájení. Dále bude uvedeno jak se pájení používá v praxi. V diplomové práci bude uveden pohled mkkých pájek na tuzemském trhu.

## 2. Podstata pájení, výhody a nevýhody, použitelnost v praxi

### 2.1. Historie pájení

Pájení není moderní vynález. Archeologické záznamy dokazují, že pájení bylo používáno soustavně od antiky. Pájení je jedním z nejstarších způsobů spojování materiálů za tepla. I přesto že, metodu spojování materiálu za tepla používali již staří Egypťané dávno před naším letopočtem, tak rozsáhlé rozšíření pájení se datuje od roku 1930 hlavně v době průmyslové výroby. Na našem území používali tuto metodu zejména v Velkomoravské říši v druhé polovině 9. století. Převládá názor, že pájení vyžaduje jen manuální zručnost dílenského pracovníka. Avšak neúspěchy, které se vyskytly při zavádění pájení do výroby v důsledku nedodržení optimálních konstrukčních a technologických podmínek, způsobily jeho pomalé průmyslové uplatnění i v případech, kdy pájení bylo ze všech způsobů nejekonomičtější. Proto se teprve až v posledních 10 letech systematicky zpracovávají všechny poznatky o pájení po vnitřní stránce, což umožňuje jeho spolehlivé použití ve všech oblastech průmyslové výroby. [1,7]

Dalším faktorem který bránil hromadnému rozšíření pájení v československém průmyslu byl zkrácený názor na úsporu nekovových kovů, jimiž vznikají pájky je. [1]

### 2.2. Podstata pájení a jeho význam

#### 2.2.1. Použití pájení

Pájení je nerozebíratelné spojení materiálů pomocí přídavného materiálu (pájky), který je odlišného chemického složení od pájených materiálů. Pájky jsou slitiny kovů a podle jejich druhu se dělí na měkké (do teploty tavení 450°C) a na tvrdé pájení (teploty tavení nad 450°C). Tvrdé pájení je používáno pro spoje o vysoké pevnosti. [5]

Nejčastěji se pájení používá v sériové a hromadné výrobě drobných a středně velkých součástí. Pájení se používá tam, kde se vyžaduje vysoká produktivita

výrob výrobk elektrotechnického, chladírenského, spot ebního pr myslu a bi0uterie. Výrobky jsou v tzinou vyrobeny z tenkých plech , profil nebo trubek o tlouz ce menzí ne0 2 mm. Výrobky jsou také vyrobeny z ty í, drát a fólií ze 0elezných nebo ne0elezných kov . Po0adavky na pájený spoj jsou bu jen t snost, elektrická vodivost, korozivzdornost, nebo mechanická pevnost p i statickém, p ípadn dynamickém namáhání do maximáln 250 °C. Dále se vy0aduje od pájeného spoje p kný povrchový vzhled spoje a hlavn plynulý p echod. K pájení jsou vhodné m kké pájky cínové, tvrdé pájky z m di a jejich slitin, pájky st íbrné. [4]

Pájení se pou0ívá p i spojování kombinovaných ne0elezných a 0elezných materiál a také se pou0ívá p i spojování slo0itých výrobk ze 0árovzdorných, 0áropevných a korozivzdorných ocelí a slitin s vysokou pevností. Metoda spojování materiál za tepla tedy pájení se vyu0ívá p i výrob plynových a parních turbín, palivových lánk v jaderných elektrárnách, tepelných vým ník a p i výrob ob 0ných kol turbokompresor . Pájení se také pou0ívá p i stavb dru0ic a raket. Pájení se uplat uje tam, kde pájené spoje pracují p i vysokých nebo kryogenických teplotách. Na pájený spoj jsou kladeny vysoké po0adavky, zejména na odolnost proti oxidaci, pop ípad korozi a dále je vy0adována od pájeného spoje dobrá hou0evnatost. Pájení ve vakuu a nebo ve vysoce ísté reduk ní atmosfé e je výhodné. Pájení má oproti sva ování mnoho technickoekonomických výhod, které plynou p ímo z podstaty pájení. P i pájení se spojované materiály oh ejí asi na 50 °C nad likvidus pou0ité pájky. Na rozdíl od sva ování nedochází p i pájení k roztavení spojovaných materiál v míst spoje. Spojení materiál vzniká nej ast ji v d sledku vzájemné difúze a rozpustnosti pájky a základních materiál . [4]

V praxi se vyu0ívá n kolik metod pájení. Jednou z t chto metod je kapilární pájení. Kapilární pájení se pou0ívá ke spojování sou ástí s paralelními sty nými plochami, mezi kterými je úzká kapilární mezera nep esahující dovolenou mez, která je ur ována pou0itou pájkou. Roztavená pájka vtéká samovoln kapilární vzlínavostí do mezery a vytvá í spoj i v nep ístupných místech. [4]

Kapilární pájení se provádí ve speciálních za ízeních, r zných pecích s ochrannou atmosférou nebo bez ochranné atmosféry. K pájení se dále pou0ívají solné lázn ,

kovové pájení a indukční zářezání, která slouží při spojování k ohřevu součástí. [4]

Pájení plní dvě funkce:

1. Mechanická podpora . drží pájené součástky pohromadě .
2. Elektrická podpora . udržuje elektrické spojení v obvodu. [9]

K hlavním výhodám pájení patří:

- menší spotřeba tepelné energie, vztí pracovní rychlost, vysoká hospodárnost výroby i při použití dražší pájky;
  - vysoká produktivita práce (možnost zhotovení více spojů stejné jakosti zároveň );
  - možnost mechanizace a automatizace pájení, zejména pro obsluhu zářezání není potřebná vysoká kvalifikace pracovníků ;
  - kulturnější pracovní prostředí;
  - možnost spojování všech kovů a slitin, kombinovaných kovových a nekovových materiálů , jednoduchých i složitých tenkostenných nebo tlustostenných součástí;
  - velká rozměrová přesnost součástí po pájení;
  - možnost spojení pájení s tepelným zpracováním, takže je možno dosáhnout vysoké únosnosti spoje;
  - pěkný povrchový vzhled spoje, popř. celé součásti (není třeba doplňkového obrobení spoje);
  - vzniká menší vnitřní napětí ve spoji a zároveň dochází i k menším strukturním změnám základního materiálu;
  - vysoká reprodukovatelnost výsledků pájení a snadná kontrola jakosti spoje;
- pájka vyplní celý průřez spoje, i když se položí jen z jedné strany ( na obou stranách spoje vytvoří plynulý přechod) [1]

Nevýhody pájení jsou:

- pájené spoje mají menší pevnost než spoje svařované,
- pájené spoje mají nižší tepelnou odolnost (hlavně při vysokém pájení),
- deformace dlouhých pájených spojů ,

řájené spoje mají sníženou odolnost proti působení

prostředí,

- během pájení vzniká problém odstranění zbytků tavidla, které mívá  
někdy korozní vliv,
- pájení není vhodné pro spojování dlouhých spojů,
- při pájení může vznikat koroze. [1, 10]

### 2.2.2. Fyzikální podstata pájení

Pájení je definováno jako způsob metalurgického spojování kovových součástí roztavenou pájkou. Pájené plochy nejsou nataveny, ale jen smáveny použitou pájkou. Důležitým faktorem je dobrá smávitost spojovaného materiálu tekutou pájkou. Dobrá smávitost spojovaného materiálu je podmínkou pro vytvoření kvalitního spoje. Díky malé vzdálenosti mezi povrchovými atomy základního materiálu a tekuté pájky se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil. Nejčastěji k tomu dojde i k vzájemnému rozpouštění a difúzi v kterých prvků spojovaných materiálů. Adhezní povrchové spojení lze považovat za zvláštní případ pájení. Vlivem kapilárního tlaku, který se výrazně projevuje při mezerách menších než 0,5 mm, nastává tečení pájky (popřímo i tavidla) v mezeře spoje vzemí směrem. [1]

Podstata kapilárního pájení je vcelku analogická s proudem vody potrubím. Jak při kapilárním pájení tak i při proudění vody potrubím se jedná o kapalinu, která proudí mezi dvěma tuhými plochami. Hnací silou při pájení je kapilární tlak, který nutí tekutou pájku vyplnit mezeru vzemí směrem. Naopak ve vodorovném potrubí je hnací silou tlak tavidla. [1]

Povrchové napětí v kapce tekuté pájky je vysvětlováno vzájemnou přitažlivostí, která se vyskytuje mezi různými částicemi tekutiny. Povrchové napětí vzniká tak, že molekuly na povrchu kapaliny nejsou ze všech stran obklopeny jinými molekulami stejného druhu a jsou proto silami molekul vtahovány do vnitřku kapaliny. Molekuly, která se nachází na povrchu pod vlivem jednosměrné přitažlivosti směřující kolmo na povrch tekutiny. Povrch kapaliny má přebytek energie vnitřku kapaliny. Když kapka tekutiny docílí dokonalého kulového tvaru, tak

Dokonalý kulový tvar je takový, který má při daném objemu ze všech geometrických útvarů nejmenší plochu. Povrchové napětí ovlivňuje povrch, který má snahu se stáhnout na nejmenší povrch. Povrchové napětí je jev, který se projevuje tím, že síly působící na povrch kapalin se snaží dosáhnout nejmenšího povrchu kapaliny. [1]

Smáivost je schopnost tekuté pájky přilnout k určitému povrchu spojovaného materiálu při určité teplotě. Opakem smáivosti je roztékavost. Roztékavost je definována jako schopnost tekuté pájky roztéci se při určité teplotě na vodorovném povrchu základního materiálu. [1]

### 2.3. Smáivost a roztékavost

Základním požadavkem pájení je dokonalý styk mezi určitými povrchy pájených kovů a pájkou v tekutém stavu. Tento dokonalý styk mezi pájenými částmi a tekutou pájkou se nazývá smáivost. [4]

Smáivost definujeme jako schopnost tekuté pájky (tavidla) přilnout k určitému povrchu spojovaného materiálu při určité teplotě. Naproti tomu roztékavost je schopnost tekuté pájky (tavidla) roztéci se při určité teplotě na vodorovném povrchu základního materiálu. [1]

Povrchová energie určitého kovového povrchu je vyčíslena, než roztavené pájky. Za této podmínky pájka smáivostí povrch a vytvoří tak na rozhraní metalurgickou vazbu. Jak smáivost postupuje, tak roste na rozhraní tenká mezikovová vrstva a vytváří základ pro spolehlivý spoj. [3]

Při smáivosti nabude kapka roztavené pájky takového tvaru, při kterém je povrchová energie systému základní materiál-pájka-tavidlo (atmosféra, vakuum) minimální a mohou tedy působit meziatomové síly. [1]

Smáivost je první stadiem vzájemného fyzikálního chemického působení atomů (iontů) roztavené pájky s povrchem pevného základního materiálu. Při smáivosti začínají působit meziatomové síly, jejichž účinkem vznikají na místech mezifázového rozhraní vazby, které se rychle rozšiřují po celé ploše styku. Při tom se snižuje volná povrchová energie systému. [1]

Podle velikosti stykového úhlu rozeznáváme různé stupně smáivosti. Dokonalá nebo úplná smáivost nastává při  $\theta = 0$ , tj. při  $\cos \theta = 1$ . Velmi dobrá smáivost

stupe je pořadován pro kapilární pájení. Dobrá smáivost nastává  $20^\circ > \theta < 90^\circ$ . Je-li stykový úhel  $\theta > 90^\circ$ , jde o smáivost zpatnou. [1]

Krom složení pájky, základního materiálu a podmínek pájení, je stupe smáivosti pájky závislý také na kvalitě povrchu pájené plochy. Deformace povrchové vrstvy, která vzniká například v průběhu obrábění, zlepšuje smáivost pájky. V případě dobrého smáění, tj. je-li stykový úhel smáění  $\theta < 20^\circ$ , nastává roztékání pájky po povrchu základního materiálu, nebo tečení pájky úzkou mezerou spoje. [1]

Špatná smáivost a roztékavost pájky na tuhém základním materiálu se dá zlepšit přidáním malého množství legujících přísady, například Pd, Li, Si, Ni, Mn, Be, V, B, P apod. do pájky, která dává se základním materiálem exotermické slitiny s  $\Delta H < 0$ . Této skutečnosti využíváme při vývoji tzv. samotekoucích pájek, které jsou vhodné pro pájení materiálů na vzduchu bez tavidla. V tomto případě používáme takovou legující přísadu pájky, která má funkci dezoxidace a zároveň zápornou hodnotu volné entalpie. Tuto podmínku splňuje například Li a B u pájek na bázi Cu-Zn, Cr-Ni, Ag-Pd, Pd, Ni-Cu resp. P a Cu, nebo Ag pájky. [1]

## 2.4. Vzlínavost

Vzlínavost je definována jako schopnost tekuté pájky vyplnit p i pracovní teplot úzkou mezeru spoje p sobením kapilárních sil. Velikost kapilární síly se ur uje podle zákon hydromechaniky., které platí pro laminární proud ní. [1]

P i zkouzení vzlínavosti pájky je t eba si uv domit podstatný rozdíl mezi vodorovným a svislým proud ním pájky. Také vzdálenost zatékání pájky u svislého spoje je omezená. P itom neuva0ujeme jakost pájených ploch. Je známé, 0e p i obrobení pájených ploch ezným nástrojem vznikají v tží i menzí rýhy, které mohou ovliv ovat te ení (roztékavost) pájky. Vzeobecn tedy mohou existovat bu zv tzení, nebo zmenzení kapilární mezery. [1]

U svislého nebo vodorovného spoje mírné zú0ení kapilární mezery podstatn pájení neovlivní. V tomto p ípad se zvyšuje jak kapilární tlak, tak i rychlost te ení pájky. V krajním p ípad , tj. bu u dlouhého spoje, nebo kdy0 je zú0ení kapilární mezery p íliz velké, m 0e dojit k úplnému zastavení te ení pájky. Obráb ním se krystalická m í0ka povrchové vrstvy zna n deformuje a vzniká v ní vnit ní pnutí. [1]

## 2.5. Difúze

Podmínkou vzniku difúze p i pájení je p emíst ní atom pájky a základního materiálu. Toto p emis ování je podmín no nehomogenitou slo0ení. Sm r pohybu je dán gradientem koncentrace. Na difúzi mají vliv poruchy struktury, gradient teploty, aktivity apod. [1]

Difúzní procesy v pevných kovech jsou závislé na typu a nepravidelnosti stavby jejich krystalické m í0ky. U kov s prostorov centrovanou kubickou m í0kou probíhá difúze rychleji ne0 v kovech, které mají m í0ku s nejhust jzím uspo ádáním atom . Sou initel difúze vzr stá se zvyšováním hustoty poruch krystalické m í0ky kov . Hustota vakancí a dislokací, velikost zrn a mno0ství pru0ných deformací v kovu, závisí na zp sobu výroby kovu a jeho mechanickém a tepelném zpracování. Plastická deformace zvyšuje koncentraci vakancí v kovu. Uvedené procesy proto zrychlují difúzi. [1]



základního materiálu je v n kterých p ípadech ne0ádoucí a má za následek tzv. pájecí praskavost. Je to obdoba elektrochemické koroze, kde elektrolyt je nahrazen tekutou pájkou. Pájením se dostane pájka mezi jednotlivá zrna základního materiálu a tím poruší jeho soudr0nost. [1]

Pájecí praskavost vzniká za t chto podmínek:

- p ímý dotyk pevného základního materiálu s tekutou pájkou,
- velká rozpustnost pájky, resp. n kterých jejích prvk v základním materiálu,
- zna né vnit ní pnutí v základním materiálu,
- vysoké p eh átí pájky nad teplotou tavení,
- dlouhá doba pájení. [1]

### 3. P ehled m kých pájek na tuzemském trhu.

#### 3.1. Charakteristika pájek

Pájka je p ídavný materiál který se vyu0ívá p í pájení. Pájky slou0í ke spojování kovových materiál za pou0ítí tepla. Pájky se pou0ívají pro vytvo ení dokonalého pájeného spoje kov podobného nebo odlišného chemického slo0ení. Pájka musí mít v0dy teplotu tavení ni0zí ne0 pájené kovy. sVlastnosti pájek se posuzují z n kolika hledisek:

- pájka má mít v0dy ni0zí teplotu tání (tavení) ne0 spojované kovy;
- interval tavení pájky ur ené pro kapilární pájení má být úzký (< 100 °C), pop ípad se volí eutektické slo0ení pájky. V opa ném p ípad , zejména p í pomalém oh evu projevují snadno tavitelné slo0ky (s ni0zí teplotou tání (tavení)) snahu navzájem se od sebe odd lit. Slo0ka pájky s ni0zí teplotou tání (tavení) (eutektikum) za ne teci nejd íve a zanechává za sebou tzv. sko ápku (zkraloup), skládající se ze slo0ek s vyzzí teplotou tání (tavení) (tuhý roztok). Tento jev se nazývá likvace (odm zování): je p í pájení ne0ádoucí. Vzniklá sko ápka není dostate n tekutá a pájka potom nezaplní dokonale pájenou mezeru. Pájka se zirokým intervalem tavení (>100 °C) má p í kapilárním pájení horzí pájecí vlastnosti. Je vzak pou0itelná pro nánosové pájení;

- a ovacího 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). Tyto vlastnosti jsou závislé na chemickém složení pájky a zároveň i na kombinaci základního materiálu a tavidla. Pro nánosové pájení postačuje pouze dobrá smáčivost pájky;
  - vzhledem k tomu, že nečistoty obsažené v pájce výrazně zhoršují deformáční vlastnosti pevnostové oblasti spoje, resp. korozní odolnost pájeného spoje, je třeba vyžadovat vysokou čistotu surovin pro jejich výrobu;
  - prvky pájky a základního materiálu mají mít určitou rozpustnost a difúzní schopnost, přičemž nemají tvořit se základním materiálem křehké intermediární fáze. To však závisí i na kombinaci pájky a základního materiálu, teplotě a době pájení;
  - z důvodu možného pozdější koroze je výhodnější pájka, jejíž prvky mají malý rozdíl elektrochemického potenciálu ve styku s použitým základním materiálem;

pájka musí mít nejen dobré mechanické vlastnosti (pevnost ve smyku, v tahu, tažnost, popř. tvrdost) sama o sobě, ale musí mít zvlášť schopnost vytvářet pevné spoje. To je závislé na chemickém složení pájky a jakosti (složení) difúzní oblasti spoje. [1]

### 3.2. Druhy pájek

Pájky se rozdělují podle teploty tavení na dvě skupiny. Pájky, jejichž teplota tavení je nižší než 450 °C se nazývají pájky měkké a pájky které mají teplotu tavení vyšší než 450 °C jsou pájky tvrdé. [1]

#### 3.2.1. Měkké pájky

Měkké pájky jsou charakteristické malou pevností a nízkou pracovní teplotou. Vzhledem k charakteristickým znakům měkkých pájek se tyto pájky používají k pájení takových spojů, které nejsou pevnostně a teplotně namáhány. Do

í cínové a speciální pájky. Mkké pájky jsou slitiny t Okých kov , Tyto slitiny se taví p i nízkých teplotách, nap . cín, olovo, kadmium, antimon, bismut. [1]

Mkké cínové pájky jsou slitiny cínu a olova. Jejich pracovní teplota je v rozmezí teplot 190 . 350 °C. Aktivní slo0kou v cínových pájkách je cín, který ovliv uje smá ivost a kvalitu pájení. Naopak olovo negativn ovliv uje smá ivost. Pájecí vlastnosti pájky m 0eme zlepzit tím, 0e p idáme nepatrné mno0ství cínu nebo jiného povrchov aktivního prvku jako je nap íklad antimon. Mkké cínové pájky obsahují 4 . 90% cínu. Nejd le0it jí vlastnosti pájek obsahující cín se hodnotí podle rovnová0ných diagram . Eutektická pájka cín-olovo obsahuje 62% cínu a její teplota tavení je 183 °C. [1]

### 3.2.1.1. Mkké pájky bezolovnaté

Po0adavky na bezolovnaté pájky:

- 1) netoxické
- 2) dostupné a cenov p im ené,
- 3) úzký teplotní rozsah plasticity,
- 4) p ijatelné smá ení,
- 5) materiálův vyrobiteľné,
- 6) p ijateľná teplota zpracování,
- 7) vytvo ení spoehlivých spoj . [3]

Slitina Sn96,5/Ag3,5 (Sn96/Ag4) je jednou z nejslibn jzích slitin podle spole ností NCMS, Ford, Motorola a TI Japan. N mecká studie jí ozna uje za jednu z nejvhodn jzích slitin. S pou0íváním této slitiny existují dlouhodobé zkuzenosti. Firma Indium Corp. hlásí, 0e tato slitina se vyzna uje nejhorzím smá ením p i pájení p etavením mezi vzemi slitinami s vysokým obsahem Sn. [3]

V ní0e uvedené tabulce jsou slitiny Sn/Ag od firmy Kovohut P íbram, a.s.

Tabulka 1: Slitiny cínu a st íbra - pájky od firmy Kovohut P íbram, a.s.

Slitina	Norma	Interval tavení [°C]	Tvar
Sn97Ag3	SN EN ISO 9453	221-224	ty e
Sn96Ag4	SN EN ISO 9453	221	Trubi ky, dráty, ty e, pasy, folie

Slitiny cínu, stříbra a mědi jsou souhrnně označovány jako slitiny SAC. Zkratka SAC se skládá z počátečních písmen chemických prvků Sn, Ag a Cu ze kterých je tato slitina složena. Jedná se o trojitou eutektickou slitinu s teplotou přechodu (eutektický bod) 217 °C. Měsí se přidává do slitiny Sn/Ag z důvodu pomalejšího rozpouštění mědi z desek s ploznými spoji a součástí teploty tavení a lepší směřitelnosti, lepších charakteristik tečení a tepelné únavy. Společnosti Nokia a Multicore se domnívají, že výkonnost a spolehlivost je srovnatelná nebo lepší než u eutektické slitiny Sn/Pb. Projekt Brite-Euram zjistil lepší spolehlivost a pájitelnost než u slitin Sn/Ag a Sn/Cu a doporučil tuto slitinu pro všeobecné použití. [3]

Změna slitiny snižuje hustotu a zvyšuje jak teplotu přetavení, tak povrchové napětí a úhel smáčení na různých površích. Mikrostruktura slitiny SAC na mědiném substrátu je obecně jemná a stabilní. Vrstvy intermetalické sloučeniny, vzniklé na běžných substrátech, jsou v podstatě stejné jako sloučeniny vytvářené pájkou Sn/Pb. [3]

V níže uvedené tabulce je porovnávána bezolovnatá pájka s pájkou na bázi olova. V tabulce jsou uvedeny jejich fyzikální vlastnosti.

Tabulka 2: Fyzikální vlastnosti pájky u slitin SAC

Vlastnost	Slitina	
	Sn95,5Ag3,8Cu0,7	Sn62/Pb
Solidus, °C	217	181
Likvidus, °C	217	183
Hustota, gcm <sup>-3</sup>	7,5	8,4
Úhel smáčení na Cu	43	12
Úhel smáčení na Ag	24	13
Úhel smáčení na Cu <sub>5</sub> Sn <sub>5</sub>	18	17
Povrchové napětí při 260 °C, mNm <sup>-1</sup>	548	481

Pardubice :Abe.Tec, s.r.o., 2005. 90 s.

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny slitiny složené z cínu, stříbra a mědi od českého výrobce Kovohut Příbram, a.s.

Tabulka 3: Slitiny cínu, stříbra a mědi od firmy Kovohut Příbram, a.s.

Slitina	Norma	Interval tavení [°C]	Tvar
Sn95,5Ag3,8Cu0,7	PN 681-227	217-218	Trubičky, dráty, tyče, pasy, folie
Sn96,5Ag3Cu0,5	PN 681-223	217-220	Trubičky, dráty, tyče
S-Sn99Ag0,3Cu0,7	PN 681-246	217-228	Trubičky, dráty, tyče

Zdroj: [http://www.kovopb.cz/userdata/pages/12/dp-solders\\_lf.pdf](http://www.kovopb.cz/userdata/pages/12/dp-solders_lf.pdf)

Podle společnosti Nortel slitina Sn99,3/Cu0,7 (227 °C) se svojí pájecí jakostí ve výrobě telefonů rovná eutektické pájce Sn/Pb. Při přetavení vzduchem je směšitelností, kterou se vyznačuje hrubým a vzorovaným vzhledem. Pokud jde o mechanické vlastnosti, zejména jde o nejlepší ze všech dostupných bezolovnatých pájek. Přednostně se používá k pájení vlnou vzhledem k nízké ceně materiálu. [3]

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny slitiny z cínu a mědi vyráběné firmou Kovohut Příbram, a.s.

Tabulka 4: Slitina cínu a mědi od výrobce Kovohut Příbram, a.s.

Slitina	Norma	Interval tavení [°C]	Tvar
Sn97Cu3	SN EN ISO 9453	217-310	Trubičky, dráty, tyče
Sn99,3Cu0,7	SN EN ISO 9453	227	Trubičky, dráty, tyče

Zdroj: [http://www.kovopb.cz/userdata/pages/12/dp-solders\\_lf.pdf](http://www.kovopb.cz/userdata/pages/12/dp-solders_lf.pdf)

### 3.2.1.2. Měkké pájky olovnaté

Cín a olovo představují neobvyklejší skupinu podvojných slitin, tj. těch, které vykazují částečnou vzájemnou rozpustnost. Z toho důvodu existují dvě oblasti fázového diagramu (alfa a beta), které představují jednotlivé fáze krystalické struktury v úseku horních mezí rozpustnosti pro cín a olovo a při přehřátí olova a cínu. V případě komerčních pájek nejsou tyto slitiny důležité. [3]

pouze 2,6 % Pb. Olovo však při eutektické teplotě rozpouští až 19,5 % Sn a tvoří s ním tuhý roztok. Rozpustnost Sn značně klesá s teplotou. Na obou stranách eutektického bodu existují pájky s různým intervalem tavení. Například pájka s obsahem 20 % Sn má nejvšší oblast tavení, a to v rozmezí asi 100 °C. Pájky s velkým intervalem tavení jsou vhodné pro klempířské práce. Naproti tomu v oblasti eutektického bodu jsou pájky, jejichž použití je vhodné zejména pro stavbu elektrotechnických přístrojů a všude tam, kde je vyžadována nízká pracovní teplota pájení. Pájky do 5 % Sn se používají pro spoje vystavené zvýšeným teplotám nebo tam, kde jde o podstatnou úsporu cínu (plechovky, karosérie, chladiče apod.). Cín je 10 až 14krát dražší než olovo. Se zvyšujícím se obsahem Sn cena pájek stoupá. [1]

Při výrobě cínových pájek se používá směsný cín, který je značně znečištěný. Proto je důležité odstranit nedovolené množství příměsí z pájky. Čím je pájka čistší, tím lepší je korozní odolnost a mnohostrannější oblast jejího použití. [1]

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny pájky obsahující cín a olovo, které vyrábí firma Kovohut Píbram, a.s.

Tabulka 5: Slitiny cín-olovo od firmy Kovohut Píbram, a.s.

Pájka	Interval teplot tavení [°C]	Tvar
S-Sn60Pb40E	183-190	Trubičky, dráty
S-Sn63Pb37E	183	Tyče, trubičky, dráty
S-Pb60Sn40	183-235	Trubičky, dráty
Sn99,97	232	dráty, tyče, pásy, folie
Sn63Pb37	183	trubičky, dráty, tyče, pásy, folie
Sn60Pb40	183-190	trubičky, dráty, tyče, pásy, folie
Sn50Pb50	183-215	trubičky, dráty, tyče, pásy, folie
Pb60Sn40	183-215	trubičky, dráty, tyče, folie
Pb70Sn30	183-255	dráty, tyče
Pb75Sn25	183-262	dráty, tyče
Pb85Sn15	226-290	tyče

V praxi je třeba někdy použít pájek, které splňují zvláštní podmínky, a jde o ekonomické, hygienické, nebo protikorozní požadavky, použití při zvýšené, pop.

Sn, Pb také z Cd a Zn a jejich složení se blíží eutektickému. Legováním dalšími prvky, jako jsou např. Ag, Cu, Sb, Bi, In apod., se vytvoří pájky, které splňují speciální požadavky praxe. [1]

Přídavek určitého kovu v pájecí slitině má přímý vliv na zlepšení pájecí vlastnosti pájky v těchto případech:

- 1) Přídavek Cu je historicky doložen v období, kdy se pájelo holými mědi a měďnými hroty a měď byla přidávána v pájce hlavně za účelem snížit difúzi hrotu do pájky. Tyto slitiny dnes již pozbyly praktický význam.
- 2) Přídavek Ag optimalizuje difúzi uzlechtilějšího kovu do slitiny. Byl to případ, kdy terminály součástek byly pokryty slitinou Ag/Pb (hybridní integrované obvody, první SMD typy). Z hlediska roztečivosti pájka s přídavkem Ag vykazuje nepatrně lepší vlastnosti a je méně náchylná k oxidaci. Proto namátkově výrobci pájecích slitin a past dávají dodnes přídavek této slitiny, kdy obsah Ag se pohybuje okolo 2%.
- 3) Přídavek Antimonu Sb má vliv na zvýšení mechanické pevnosti a odolnosti pájeného spoje. Tento přídavek je prakticky tak nepatrný, že většina výrobců tento přídavný kov nepoužívá.
- 4) Přídavek Bismutu Bi vede k matnějšímu povrchu pájeného spoje při zachování standardních vlastností slitiny, což může usnadnit vizuální optickou kontrolu pájeného spoje. Opticky se však užívá minimálně. [3]

Do skupiny speciálních pájek patří také pájky s nízkou teplotou tání, tj. s pracovní teplotou 120 až 180 °C. Používají se na pájení porcelánové keramiky, tiskových obvodů. Na které typy pájek bývají jezt legovány Ag, resp. Cu. Sem patří i modelovací pájky používané při výrobě karosérií osobních automobilů, jimiž se opravují drobné tvarové nedostatky svařované karosérie. Používají se pájky tohoto složení: Sn 13 až 15 %, Sb 1 až 2 %, zbytek Pb a nejvyšší povolený obsah ostatních prvků podle SN 05 5600 (Cu . 0,5 %; Bi . 0,1 %; Fe . 0,05 %; Al . 0,02; Zn . 0,02 %; S . 0,05 %; Ag . 0,05 %). [1]

má i m , která se také p idává do cínové pájky.

Brání rozpouzt ní m d ného pájedla, ím0 zna n prodlu0uje jeho 0ivotnost. Rozpustnost základního materiálu je závislá také na výzi pájecí teploty. Díky m di v pájce se dosahuje vyzzí pevnosti spoje a menzího sklonu k rekrystalizaci základního materiálu ne0 u b 0ných cínových pájek. [1]

V ní0e uvedené tabulce jsou uvedeny speciální m kké pájky cín-olovo s p ídavkem m di.

Tabulka 6: Slitiny cínu a olova s p ídavkem m di od firmy Kovohut P íbram, a.s.

Pájka	Interval teplot tavení [°C]	Tvar	Pou0ití
S-Sn62Pb37Cu1	183	Trubi ky	elektronika
SSn60Pb38Cu2	183-190	trubi ky	elektronika

Pro pou0ití v potraviná ském pr myslu nejsou vhodné pájky obsahující olovo. Pro tento ú el jsou nejvýhodn jí pájky na bázi Sn . Ag. Pájky na bázi Sn . Ag se pou0ívají také pro spoje, u nich0 se vy0aduje vysoká odolnost proti korozi. I únosnost pájených spoj p i zvýzených teplotách je lepzí ne0 p i pou0ití b 0ných cínových pájek. St íbro udr0uje dobrou pevnost i p i únavovém a creepovém namáhání. Zlepzuje smá ivost a roztékavost, zvyzuje elektrickou vodivost a sni0uje teplotu tání pájky, tak0e v n kterých p ípadech m 0e být úspora na pracovním ase v tzi ne0 úspora na cen pájky. P idáním st íbra nap . do pájky Sn60Pb bráníme rozpouzt ní st íbrných a post íb ených výrobk p i pájení. Takto vzniklá pájka Sn60PbAg tvo í ternární eutektikum. Pou0ívá se p i pájení páje kou a p i pájení v kovové lázni. [1]

V ní0e uvedené tabulce je uveden sortiment olovnatých pájek s p ídavkem st íbra od výrobce Kovohut P íbram, a.s.

Tabulka 7: Slitiny cínu a olova s p ídavkem st íbra od firmy Kovohut P íbram, a.s.

Pájka	Interval teplot tavení [°C]	Tvar
Sn62,5Pb36Ag1,5	179	trubi ky
Sn62Pb36Ag2	178-190	trubi ky
Sn57Pb39Ag4	175-180	dráty
PbSn5,5Ag2,5	286-301	dráty



PbSn2,5Ag2,5	300-305	dráty
PbSn15Ag1	200-280	dráty

Pro výrobu bezpečnostních pojistek se používají pájky s pracovní teplotou pod 100 °C. Přidáním Cd a In směs dále snížit teplotu tavení a zlepšit pájecí vlastnosti slitiny. Indium však patří mezi drahé a těžko dostupné kovy. Při použití pájek s bismutem je třeba brát v úvahu i toxické účinky a korozní odolnost.

Tabulka 8: Slitina olova a cínu s přidáním bismutu od firmy Kovohut Příbram, a.s.

Pájka	Interval teplot tavení [°C]	Tvar
Pb48Sn32Bi	140-160	trubičky

V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny pájky s přidáním zinku a kadmia a lité pájky olovo-cín od výrobce Kovohut Příbram, a.s.

Tabulka 9: Slitina olova a cínu s přidáním zinku od Kovohut Příbram, a.s.

Pájka	Interval teplot tavení [°C]	Tvar
PbSn20Zn4,5	170-267	dráty
PbSn25Zn1,5	170-261	dráty

Tabulka 10: Slitina cínu a olova s přidáním kadmia od firmy Kovohut Příbram, a.s.

Pájka	Interval teplot tavení [°C]	Tvar
Sn50Pb32Cd	145	dráty

Tabulka 11: Lité pájky olovo-cín od firmy Kovohut Příbram, a.s.

Lité pájky	Teplota tavení [°C]	forma
S-Pb75Sn25	183-260	Pájecí tyče
S-Pb70Sn30	183-255	Pájecí tyče
S-Pb60Sn40	183-238	Pájecí tyče
S-Pb50Sn50	183-215	Pájecí tyče
S-Sn60Pb40	183-190	Pájecí tyče

	3-213	Pájecí ty e
S-Sn99,75	232	Pájecí ty e

### 3.2.2. Tvrdé pájky

Tvrdé pájky se nejast ji pouívají pro spojování materiál , které musí odolávat vyzímu mechanickému namáhání p i provozní teplot 20 °C a nebo pokud pájený spoj je vystaven kryogenickým teplotám. Tvrdé pájky se lizí od m kkých hlavn vyzím bodem tavení, protoe se stávají tekutými a0 p i silném 0áru. Tvrdé pájky obsahují b 0né nebo drahé kovy. [1, 12]

#### 3.2.2.1. St íbrné pájky

Pájky na bázi st íbra jsou slitiny st íbra s m dí a zinku, p ípadn s p ísadou dalzích prvk jako je t eba cín, nikl a kadmium. Mno0ství st íbra je r zné. U chudých pájek je obsah st íbra 5 a0 10 %, u st edních pájek je obsah st íbra v rozmezí od 20 do 40 % a u bohatých pájek je mno0ství st íbra a0 80 %. Slitiny se st íbrem mají pom rn nízký bod tání. Teploty tavení pájek a jejich pracovní teploty jsou ovlivn ny slo0ením slitin. [4]

Pájky na bázi st íbra se v pr myslové výrob moc asto nepouívají, protoe po ízení st íbrných pájek je v porovnání s mosaznými pájkami nákladn jzí. Podle obsahu zinku a kadmia se pájecí teplota pohybuje v rozmezí teplot od 630 do 800 °C. Se vzr stajícím mno0stvím hliníku (do 45 %) klesá teplota tavení pájky, nad 45 % obsahu hliníku roste tavící teplota pájky v rozmezí asi 2 °C na ka0dé 1 % hliníku. [1]

Pájkami na bázi st íbra m 0eme pájet skoro vzechny 0elezné a ne0elezné kovy mimo kov lehko tavitelných a kov lehkých s výjimkou titanu a jeho slitin. Pájky, které se pouívají pro spojování 0elezných kov by m li obsahovat ni0zí mno0ství ne istot ne0 pájky pouívání pro spojování ne0elezných kov . [1]

Tabulka 12: Vliv chemických prvk na st íbrné pájky

Chemický prvek	Vliv prvku na st íbrné pájky
Cín	Sní0uje teplotu tavení pájky s malým mno0stvím st íbra,

je její křehkost, protože zvyšuje obsah fáze .

	Množství cínu v pájce má být pod 0,1 %.
Kemík	snižuje pórovitost a brání vypalování zinku v pájce. Pro spojování ocelí by mělo být množství kemia pod 0,05 %.
Fosfor	Při pájení funguje jako dezoxidant, během pájení dochází k tvorbě křehké pevnostové oblasti, která zmenšuje pevnost v tahu a hlavně pevnost v ohybu spoje. Množství fosforu je omezeno na 0,014 %.
kadmium	Nahrazuje v pájce zinek a výrazně zmenšuje teplotu tavení pájky. Pozitivní vliv je roztékavost, ale zároveň zmenšuje pevnost pájky. Stejně jako zinek se lehce odpařuje.
mangan	Kladně působí na pevnost v tahu, zmenšuje možnost ohybu spoje.
nikl	Zlepšuje mechanické vlastnosti a odolnost proti korozi.
Železo	Zvyšuje tvrdost pájky
palladium-beryllium-bismut	Zlepšují směšivost pájky, tato vlastnost je výhodná při pájení materiálů, které obsahují titan a kobalt
hliník	Má negativní vliv na tekutost pájky. Během pájení tvoří křehké mezivrstvy. Množství hliníku by mělo být maximálně 0,001 %. Podobný účinek mají i titan, hořčík a zirkonium
antimon	Zmenšuje deformovatelné vlastnosti ocelového spoje. Množství antimonu má být nižší než 0,01 %.
olovo+železo	Zhoršují obrábění pájeného spoje. Snižují pevnost spojení pevnostové oblasti, základního materiálu a pájky u pájeného spoje oceli.

množství olova nad 0,1 % způsobuje pórovitost a

při spojování ocelí i křehkost spoje.

bismut	Vliv bismutu je podobný jako vliv olova, Maximální množství bismutu by mělo být 0,0015 %.
--------	---

Zdroj: RUŽA, Viliam. Pájení. Praha : SNTL . Nakladatelství technické literatury, n. p., 1988. strana 76,78

### 3.2.2.2. měděné pájky

Tvrdé pájky z tvrdých kovů se používají pro pájení součástí, které musí v provozu při teplotě +20 °C odolávat vyzdímu mechanickému namáhání nebo pokud spojovaná součást pracuje za kryogenických teplot. Tvrdé pájky obsahují bílé nebo drahé kovy. [1]

Měděné pájky se používají pro spojování železných a neželezných kovů s teplotou tavení vyzdí nejméně 1 000 °C. [1]

Na níže uvedeném obrázku jsou tvrdé pájky od firmy Feron

Tabulka 13: Tvrdé pájky od firmy Feron

Obchodní označení	průměr	délka	složení
BFC-801	2,0 mm	450 mm	Cu60Sn0,2Zn
BFC-802	2,0 mm	450 mm	Cu60Sn0,2Zn
BO 696	2,0 mm	450 mm	Cu60Sn0,20Zn
BO 672	2,0 mm	500 mm	Cu41Zn34Ag25
BO 680	2,0 mm	500 mm	Ag45Cu28Zn25Sn2
Supersan 2	2,0 mm	neuveďeno	CuP6,3Ag5,5
Supersan 5	2,0 mm	neuveďeno	CuP6,7Ag2,5
Supersan 94	2,0 mm	neuveďeno	CuP6,5

Zdroj: [www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)

### 3.2.2.3. Pájky pro vakuové pájení

Pro pájení ve vakuu nejsou vhodné pájky obsahující Sb, Pb, Bi, Sn, Zn, Cd. Tyto pájky mají při pájecí teplotě vysoký odpařovací tlak. Z tohoto důvodu pro pájení ve vakuu nejsou vhodné klasické cínové, mosazní a stříbrné pájky. Pájky vhodné pro vakuové pájení mají obsahovat některé z těchto prvků. Ag, Cu, Au, Ge, In, Ni, Pt, Pd nebo jejich slitiny. Tyto prvky mají odpařovací tlak při pájecí teplotě nižší než

Pro materiálu se pro pájení používá vakua  $10^{-1}$  až  $10^{-4}$

$10^{-4}$  Pa. [1]

Základní požadavky kladené na spájené součásti umístěvané do vakua jsou:

- 1) Dostatečná pevnost spojů,
- 2) Vakuotnost,
- 3) Dobrá elektrická vodivost,
- 4) Čistota,
- 5) Nízké napětí par [4]

Pevnost se pájí ve vakuových pecích nebo v pecích s atmosférou vodíku nebo ztenčeného pájku, přičemž se nikdy nesmí používat tavidla, aby byla zaručena dobrá vakuotnost a čistota spoje. Pokud nejsou pájené spoje určeny do vakua, mohou se použít pájky s tavidly, vyžadují-li to pájené kovy přiblížených vzájemně sobě pájení, například pájení v proužkových pecích s ochrannou atmosférou. [4]

#### 3.2.2.4. Niklové pájky

Pro své vlastnosti (odolnost proti korozi, oxidaci atd.) je nikl vhodnou základní složkou pro žárovečné a žárovzdorné pájky. Tyto pájky se používají pro pájení žárovečných, žárovzdorných a korozivzdorných ocelí a slitin. Vlastnosti niklu mohou být zlepšeny legováním, čímž se snižuje teplota tavení niklu (přibližně  $1452\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) tvorbou eutektika nebo tuhého roztoku s nižší teplotou tavení. Jednoduché eutektikum tvoří s niklem tyto prvky: B, P a Si. Z nich se uplatňuje ve formě eutektické pájky podvojná slitina Ni-P. [1]

Pájky na bázi niklu, které se používají při teplotách vyšších než  $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jsou různé slitiny niklu, kadmíku, bóru a chrómu, někdy s přísadou fosforu, uhlíku, železa a manganu. [4]

Chrómu brání vzniku oxidace a zvyšuje pevnost. Obsah chrómu v pájce je někdy až 20 %. Kadmík, bór, fosfor a další prvky zmenšují body tavení pájek, jejichž podstatnou částí je nikl s bodem tavení  $1451\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bór napomáhá rychlému tvorbě slitin s pájenými kovy, protože proniká velmi rychle po hranicích zrn. Pájky na bázi niklu se používají hlavně pro pájení nerezavějících ocelí a vysokoniklových slitin používaných pro zvýšené teploty, někdy až do  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Niklové pájky mají dobrou pevnost a vzdornost proti korozi. [4]

íjkami v pecích s vodíkovou ochrannou atmosférou, kde není potřeba používat tavidla. Niklovými pájkami můžeme pájet také v běžně používaných pecích s atmosférou jiného druhu s použitím tavidla. [4]

### 3.2.2.5. Paládiové pájky

Žáropevné pájky na bázi palladia se používají v oblasti plynových turbín, proudových motorů, letadel, elektroniky, výroby jaderných reaktorů apod. Při pájení tenkostěnných součástí ze žárovzdorných materiálů. I přesto že nejsou pájky na bázi palladia určeny pro vysoké provozní teploty, poskytují po dobu 1000 hodin a 450 °C dostatečnou creepovou pevnost. [1]

Výhody palladiových pájek oproti niklovým pájkám:

- Jsou tažné,
- Nerozpouštějí ve velké míře základní materiál,
- Brání vzniku pájecí praskavosti,
- Mají lepší pájecí vlastnosti,
- Mají menší roztékavost,
- Mají větší pevnost a tažnost nejen ve vytaveném stavu,
- Mají vysokou odolnost proti korozi. [1]

Nevýhodou palladiových pájek je poměrně vysoká cena. [1]

### 3.3. Tvary pájek

Tvary pájek prodávané na českém trhu

- dráty
- tyče
- trubky plněné tavidlem
- zrna
- pásy
- pruhy
- fólie
- housky

zím tvarem pájky drát. Pájky se v tzinou prodávají ve tvaru drátu, který je navinutý na cívce. Pájky ve form drátu se prodávají na eském trhu o pr m rech v rozmezí 1-6 mm. Pájky vznikají litím a tvá ením. Pájky ve tvaru drátu se vyrábí tvá ením. Litím se vyrábí takové pájky, které nemají dobré tvá ecí vlastnosti. Pájka ve tvaru drátu se vyrábí v lisovn lisováním p i teplot 500 °C p i které je pájka dob e tvá itelná.

Tabulka 14: Rozm ry jednotlivých tvar pájek

Tvar pájky	Rozm r pájky
dráty	Ø 1 . 6 mm
Ty e lité	10 mm (rovnostranný trojúhelník)
Ty e tvá ené	Ø 1 . 8 mm (délka: 500 a 1000 mm)
Bochníky	140x70x620 mm
trubi ky	1 . 7 mm
zrna	0,2 . 3 mm a 3 . 5 mm
pásy	0,1x350 mm, 0,2x10 mm a 3x400 mm
pruhy	0,4x100x500 mm, 1x10x500 mm a 2x10x500 mm
fólie	0,06x6 mm a 7 mm a 250 mm, 0,07x6 mm a 7 mm a 250 mm, 0,08x6 mm a 7 mm a 250 mm

Zdroj: N MEC, Karel. Pájení. Všeobecné zásady. 1970, s. 13 - 14.

## 4. Tavidla

Jedním ze základních p edpoklad pro vytvo ení dokonalého pájeného spoje je istota povrchu pájené sou ásti. Povrch pájeného materiálu musí být istý hlavn v míst spoje. Proto0e tenká oxida ní vrstva je skoro v0dy na povrchu pájeného

stava vytvoří vlivem zvyšující se teploty, je potřeba použít dezoxidaci prostředky například tavidel nebo ochranných atmosfér k odstranění oxidu z pájeného materiálu. Dalším způsobem jak zabránit vzniku oxidací vrstvy je pájení v solných lázních a nebo ve vakuu. O použití dezoxidací prostředků se rozhoduje podle způsobu ohřevu pájených součástí a podle typu pájky. Při pájení indukčním ohřevem je nutné použít pro odstranění oxidu tavidlo. Tavidlo se také používá při pájení na pájecích strojích. Naopak při spojování v odporových pecích se tavidlo používá pouze při pájení některých kovů. [4]

Úkolem tavidla je převést lehké povrchové kyslíčky kovů do strusky, která pak pokrývá pájku i pájené kovy a zabrání další oxidaci v místě spojů. [4]

Přesobením atmosféry na kovy se vytváří na povrchu kovů kyslíkový povlak, který je mezi pájkou a spojovaným materiálem a tím brání přímému kontaktu mezi kovem s pájkou. Pokud chceme dosáhnout dokonalého a kvalitního pájeného spoje musíme tento kyslíkový povlak odstranit. Kyslíkový povlak můžeme odstranit buď mechanicky a nebo chemicky. Mechanické odstranění kyslíkového povlaku z kovů provádíme pouze v případech, kdy nelze tento povlak odstranit chemicky, třeba při pájení hliníku vtíráním nebo ultrazvukem. Odstranění kyslíkového povlaku chemickou cestou provádíme pomocí tzv. tavidel. [2]

Tabulka 15: Tavidla používaná při mechanickém pájení:

Tavidlo	Použití tavidla
MPV 1 (pájecí voda)	Používá se pro více oxidované povrchy ocelí a tuzých kovů
MPV 2 (pájecí voda)	Využívá se pro méně oxidované povrchy ocelí a tuzých kovů
Tavidlo EU 1 (pasta)	Používá se pro běžné práce ve strojírenském a elektrotechnickém průmyslu pro pájení znečištěných spojů ocelí a tuzých kovů cínovými pájkami pájedlem, elektrickou, plynovou nebo benzínovou pájkou



	nebo pono ením.
Tavidlo EU 2 (pasta)	Pro pájení ocelí a t Okých kov cínovými pájkami pájedlem, elektrickou, plynovou nebo benzínovou páje kou, pono ením, induk ním nebo odporovým oh evem.
Tavidlo EU 3 (pasta)	Pro pájení ocelí a t Okých kov cínovými pájkami pájedlem, elektrickou, plynovou nebo benzínovou páje kou, pono ením, induk ním nebo odporovým oh evem nebo plamenem.
Tavidlo MP 3 (pasta)	Pro nánosové pájení zedé litiny Zn- Sn, p edevzím na vypl ování nerovností odlitk .

Zdroj: N MEC, Karel. Pájení . Praha : SNTL . Nakladatelství technické literatury,  
n. p., 1970. 15-16 s.

Tavidla se vyrábí smícháním kyseliny solné s vodou v pom ru 1:1. V praxi se také  
pouívá jako tavidlo chlórzinek, který vyrobíme p idáním zinkového plechu do  
kyseliny solné a následném smícháním s vodou v pom ru 1:1. Malé ásti  
zinkového plechu se p idávají do kyseliny solné tak dlouho a0 p estane sva it%a  
potom p idáme stejné mno0ství vody. V radiotechnice se vyuívá jako tavidla  
kalafuny. [2]

#### 4.1. Výeobecné a termochemické požadavky na tavidla

Na povrchu spojovaného materiálu se vytvá ejí p sobením vzduchu oxidy, které  
musíme odstranit pomocí tavidla, proto0e oxidy na povrchu kovu jsou nep íznivé  
pro pájení. Tlouz ka oxidové vrstvi ky na povrchu kovu je závislá na teplot , dob  
oh evu kovu na vzduchu a na druhu kovu. Vznik oxidové vrstvy na kovu je pro

id vznikají t Oko tavitelné oxidy jako jsou například  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  a další. Práv z d vodu vznikují t Oko tavitelných oxidů na kovech, které intenzivně tvoří oxidy je potřeba při pájení použít tavidel nebo vytvořit ochrannou atmosféru. Tavidlo můžeme definovat jako homogenní směs tavených nebo netavených chemických sloučenin, roztok nebo jako pastovitou emulzi látek v rozpouštědle. Hlavní funkcí tavidla je odstranit oxidy z povrchu kovu a zabránit vzniku dalších oxidů na povrchu kovu a tím dosáhnout lepší směrovosti pájeného materiálu roztavenou pájkou. [1]

Hlavním thermochemickým kritériem je kromě pájitelnosti základního materiálu při dávným materiálem (pájkou a tavidlem) teplota pájení, rychlost reakce tavidla, tj. aktivita a stálost jeho vlastností po dobu pájení. [1]

Chemismus reakcí pájení je možno vyjádřit z hlediska termochemie následujícími rovnicemi:



kde indexy sol . značí solidus, liq . likvidus, gas . plynnou fází. [1]

Kvalita pájeného spoje závisí na stupni směření povrchu tuhého kovu roztaveným kovem, tj. vzájemným mezifázovým napětím kapalného a tuhého kovu, které může být ovlivněno buď kladně, nebo záporně použitým tavidlem. [1]

Základní požadavky na tavidla jsou:

1. V co nejvyšší míře podporovat směření základního materiálu pájkou.
2. Schopnost rozpouštět v maximální míře a co nejrychleji povrchové oxidy základního materiálu a pájky ještě před pájením, tj. reaktivnost tavidla (aktivita).
3. Stálost fyzikálních chemických vlastností při pájení, tj. nízká viskozita, povrchové a mezifázové napětí, hustota, interval teplot tavení.
4. Minimální tvorba zdraví škodlivých sloučenin, kovových par a plynů při pájení, tj. hygiena práce.
5. Snadná odstranitelnost zbytků tavidla po vychladnutí spoje. [1]

Základní funkce tavidla jsou:

1. dobrá smáčivost základního materiálu roztavenou pájkou,
2. dobrá adheze k povrchu základního materiálu,
3. teplota tání tavidla musí být o 50 až 150 °C nižší než je teplota tavení pájky,
4. reakční doba působení tavidla,
5. podle tloušťky a rozsahu oxidové vrstvy se volí množství tavidla,
6. pro konečnou kvalitu spoje je důležitá správná viskozita tavidla,
7. struktura tavidla má vliv na pájecí vlastnosti. Krystalická struktura tavidla má lepší pájecí vlastnosti než tavidla, která mají sklovitou strukturu,
8. povrchové napětí tavidla by mělo být po celou dobu pájení konstantní,
9. hustota pájky musí být větší než hustota tavidla,
10. rozmezí teplot tavení tavidla musí být minimálně o 50°C nižší než je teplota solidu pájky a minimálně o 50°C větší než je teplota likvidu pájky. Hlavním důvodem je využití aktivity tavidla,
11. tavidlo nesmí ohrožovat zdraví pracovníka, který s tavidlem přijde do styku. Tudiž je vyžadováno, aby tavidla byla nezávadná a aby neuvolňovala žádné škodlivé plyny. [2]

### **4.3. Druhy tavidel**

Rozdělení tavidel podle normy ČSN 05 5705 podle typu pájení:

- tavidla pro měkké pájení
- tavidla pro tvrdé pájení

Rozdělení tavidel podle jejich úinku:

- tavidla s leptavým úinkem
- tavidla bez leptavého úinku [1]

Rozdělení tavidel podle použitého rozpouštědla:

- tavidla rozpustná rozpouštědlem
- tavidla rozpustná vodou [3]

o jednotlivých skupin podle jejich složení a dále tato norma charakterizuje jednotlivé skupiny. Normy DIN jsou z eteln jzí ne0 americké vojenské normy MIL, proto0e americké normy neposkytují 0ádné informace o nutnosti izt ní zbytek po pájení. Klasifikace tavidel podle normy DIN 8511 je ní0e uvedena v tabulce . [3]

Tabulka 16: Klasifikace tavidel dle normy DIN 8511

Tída	Charakteristika
F-SW 34	Organické bezhalogenidové kyseliny s p írodní prysky ící bez amin
F-SW 33	Syntetické prysky ice s organickými aktivátory bez halogenid a amin .
F-SW 32	ístá p írodní prysky ice s organickými aktivátory bez halogenid a amin
F-SW 26	P írodní nebo upravené p írodní prysky ice s organickými aktivátory bez halogenid .
F-SW 21	Chlorid zine natý / chlorid amonný v organickém spojovacím inidle.

**Zdroj:** ABEL, Martin; CIMBUREK, Vladimír. *Bezolovnaté pájení v legislativ i praxi*. Pardubice :Abe.Tec, s.r.o., 2005. 25 s.

V sou asné době v tzina výrobce a distributor trubi kových pájek, past a tavidel používá systém ozna ení jejich výrobk a zboží podle evropské normy EN 9454-1. V této evropské norm jsou uvedeny tavidla, která se v sou asné době vyrábí a používají v praxi. S nejtzí pravd podobností tento nový systém zna ení postupn nahradí p vodní starý systém zna ení tavidel. Tato norma uvádí také nová tavidla, která jsou vyrobena na základ syntetických prysky ic a zd raz uje podíl halogenid v tavidlech. Klasifikace tavidel podle evropské normy EN 9454-1 je uvedena v tabulce 4. [3]

Tabulka 17: Klasifikace tavidel podle evropské normy EN 9454-1

Klasifikace tavidla		
Typ tavidla	Základ tavidla	Aktivace tavidla
1. Prysky í ná	1. Kalafuna	1. Bez aktivátor
	2. Nekalafunová	2. Halogeny

		ysky ice	3. Nehalogenové aktivátory
2. Organická	1. Vodou editelná		1. Bez aktivátor
	2. Vodou ne editelná		2. Halogeny
3. Anorganická	1. Soli		3. Nehalogenové aktivátory
			1. S chloridem amonným
	2. Kyseliny		2. Bez chloridu amonného
			1. Kyselina fosforená
3. Alkálie		2. Jiná kyselina	
			1. Aminy nebo amoniak

Zdroj: ABEL, Martin; CIMBUREK, Vladimír. *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*. Pardubice :Abe.Tec, s.r.o., 2005. 26 s.

#### 4.3.1. Tavidla pro mkké pájení

Norma SN 05 5705 rozděluje tavidla do dvou skupin podle způsobu pájení na tavidla pro mkké pájení a na tavidla pro tvrdé pájení. Tavidla pro mkké pájení dále dělení na dvě podskupiny podle úinku na tavidla s leptavým úinkem a na tavidla bez leptavého úinku. [1]

##### 1) Tavidla s leptavým úinkem

Základem těchto tavidel je chlorid zinečnatý  $ZnCl_2$ . Tavidla pro mkké pájení s leptavým úinkem obsahují zředěnou kyselinu solnou nebo fosforenou, chlorid zinečnatý  $ZnCl_2$  a chloridy alkalických kovů ve formě roztoku a past. Chlor má silný korozivní úinek a proto je nezbytné odstranit po pájení zbytky tavidla. Zbytky tavidla můžeme odstranit vodou nebo teplým roztokem uhlíkatanu sodného. Pevné zbytky chloridu zinečnatého se odstraní mechanickou cestou nebo roztokem HCl nebo  $H_2SO_4$ . Úinnost reakční schopnosti tavidel s leptavým úinkem je závislá na jejich chemickém složení, na složení přísad a na složení nových sloučenin, které

základního a p ídavného materiálu. Tavidla tohoto typu jsou producenti z k odlivých výpar , které by mohli ohrozit zdraví pracovníka a proto z tohoto d vodu je d le0ité pracovat s nimi velmi obez etn a b hem pájení odsávat z k odlivé výpary. [1]

## 2) Tavidla bez leptavého ú inku

Kdy0 není možné korozi p sobící zbytky tavidel odstranit, tak se pou0ívají tavidla bez leptavého ú inku neboli organická. Hlavní chemickou slo0kou t chto tavidel je kalafuna. Funkcí kalafuny je chránit kov proti korozi. Interval reak ní schopnosti tavidla je v rozmezí teplot od 180 do 250 °C. Organická tavidla se pou0ívají pro pájení m di, mosazí, st íbra, niklu a plech s kadmiovaným povrchem, naopak se nehodí pro pájení oceli. Na odstran ní zbytk tavidel se pou0ívají rozpouzt dla jako jsou nap íklad alkohol, truchlot, freon, benzen, toluen a dalzí. [1]

### 4.3.2. Tavidla pro tvrdé pájení

Základem tavidel pro tvrdé pájení jsou boritany. Pou0ívá se u pájek, které mají teplotu tavení nad 800 °C. V praxi se tyto tavidla nepou0ívají pro kapilární pájení z d vodu malé viskozity. [1]

Z hlediska ú inné teploty rozeznáváme tedy t i druhy tavidel:

- 1) Tavidla s ú innou teplotou od 550 °C a pro pracovní teplotu nad 600 °C. Obsahují boritany, jednoduché i komplexní fluoridy a chloridy. Jsou to nap . tavidla TP 14, TP 15, AgOT, NAg2.
- 2) Tavidla s ú innou teplotou od 700 °C a pro pracovní teplotu nad 800 °C. Obsahují sm si boritan . Jsou to nap . TP 13, VÚZ G3, TP 17, MsOT.
- 3) Tavidla s ú innou teplotou nad 1000 °C a pro pracovní teplotu nad 1000 °C, tj. pro pájky tavitelné p i vysokých teplotách. Obsahují boritany, fosfore nany, k emi itany apod. Je to nap . tavidlo TP 13

Tavidlo je t eba volit tak, aby jeho ú inná teplota byla v rozsahu pracovních teplot pájení. [1]

Pájený spoj se skládá ze základního materiálu, pájky a z p echodové oblasti. Tyto t i oblasti mají rozdílné mechanické a fyzikální vlastnosti. Z d vodu odlišných mechanických a fyzikálních vlastností není pájený spoj na rozdíl od sva ovaného spoje homogenní. Vlastnosti pájeného spoje se mohou vlivem teploty a vzájemných difúzních pochod b hem pájení i m nit. Vlastnosti pou0itých materiál , tvar a rozm ry spoje, zp sob a podmínky pájení mají vliv na vlastnosti pájeného spoje. V pr myslu se u pájených spoj posuzují jejich mechanické vlastnosti, odolnost proti korozi a oxidaci a dále se posuzuje jejich elektrická vodivost. [1]

### **5.1. Jakost pájeného spoje**

Jakost pájených spoj hodnotíme podle r zných parametr . D le0itým parametrem pro hodnocení funk nosti pájeného spoje je jeho 0ivotnost. Životnost pájeného spoje je doba po kterou je pájený spoj funk ní, tzv. 0e je spoj vodivý. Funkcí pájeného spoje je vodivost, která m 0e být ovlivn na r znými faktory. Mezi hlavní ovliv ůjící faktory pat í:

- Stárnutí materiál ,
- Mechanické namáhání,
- Teplotní namáhání [3]

#### **5.1.1. Stárnutí materiálu**

Na stárnutí pájených spoj má významný vliv tvorba difúzní vrstvy, která se tvo í na rozhraní cínu a m di. Difúzní vrstva je slo0ena z intermetalických slitin  $Cu_6Sn_5$ ,  $Cu_3Sn$  a dalších. Standardní tlouz ka difúzní vrstvy je v ádech mikrometr , ale tlouz ka difúzní vrstvy se m 0e zv tzo vat a0 na desítky mikrometr vlivem vlastností intermetalických slitin. Pájená spoj, jeho0 tlouz ka nar stá o n kolik desítek mikrometr , ztrácí své mechanické a elektrické vlastnosti a neplní po0adovanou funkci. [3]

Mechanické namáhání se rozděluje na dvě skupiny:

- 1) Externí
- 2) Interní

Vlivem mechanického namáhání pájeného spoje dochází ke vzniku únavy materiálu spoje. V důsledku vzniku únavy materiálu dochází ke snížení mechanických vlastností a k následnému mechanickému narušení. [3]

### **5.1.3. Teplotní namáhání**

Teplotní namáhání vzniká v důsledku působení tepla na pájený spoj. Teplo způsobuje jevy nevratné jako jsou například stárnutí materiálu v důsledku změny struktury, difúze a další, nebo způsobuje jevy vratné (změny rozměrů, pruhy materiálu). [3]

### **5.2. Životnost pájených spojů**

Životnost výrobku je doba po kterou daný výrobek plní svoji předepsanou funkci. Protože životnost výrobku trvá několik let, tak se životnost zjišťuje pomocí zrychlených zkoušek. Zrychlené zkoušky se provádí simulací pracovního režimu za zvýšených teplot. Důsledkem stídání záporných a kladných teplot ve zvýšené relativní vlhkosti dochází k urychlení stárnutí materiálu, čímž dochází k simulaci vnitřních procesů v pájených spojkách a součástkách v běžném používání. [3]

### **5.3. Mechanické vlastnosti**

Namáhání pájeného spoje může být jak statické tak i dynamické. Faktory, které ovlivňují únosnost pájeného spoje mohou mít povahu konstrukční, materiálovou a nebo také technologickou. [1]

#### **5.3.1. Statické namáhání**

Mezi faktory které významným způsobem ovlivňují pevnost v tahu patří zejména tvar a rozměry pájeného spoje, tloušťka základního materiálu a velikost mezery



materiálu ovlivňuje u tupého I a V-spoje pevnost spoje v tahu, protože koeficient základního materiálu ovlivňuje tloušťku je potěeba v tloušťce množství tepla, které se rozdělí nerovnoměrně a tudíž vzniká možnost výskytu v tloušťce množství chyb. Pevnost pájeného spoje lineárně klesá s velikostí pájené plochy. Důležitý je také vliv šířky pájené mezery na pevnost spoje. Platí, čím je menší šířka pájené mezery, tím je pevnost větší. [1]

## 6. Konstrukce pájených spoj

Správné provedení pájených spoj je hlavním předpokladem správného a ekonomického pájení. Když navrhujeme konstrukci pájeného spoje musíme brát v úvahu fyzikální podstatu a základní technologické podmínky pájení. Typ pájeného spoje vybíráme podle druhu, směru a velikosti provozního namáhání a také podle kombinace pájka - základní materiál. [1]

Podle tvaru spoje dělíme pájení na:

- 1) Kapilární
- 2) Do úkosu
- 3) Nánosové

### 6.1. Tupý spoj

Tupý spoj se navrhuje v takových případech, kdy v místě spoje se nesmí vytvořit přetíž. V současné době se používají dva druhy tupých spojů, a to spoj I, který je vhodný pro materiály s tloušťkou teniči ne 2 mm a spoj V, který je určen pro materiály tlustší ne 2 mm. K pájení spojů typu V se používají mosazné pájky z důvodu velké spotřeby pájky. Spoj typu V nelze zhotovit kapilárním pájením, protože se neprojevuje kapilární vztlakovost pájky. [1]

Pájený spoj typu I můžeme vyrobit kapilárním pájením, s tímto mezerou ve spoji by měla být větší ne 0,5 mm. Pokud by byla mezeru ve spoji větší ne 0,5 mm, tak by se vytvořil vlivem smrznutí pájky ve spoji povrchový vrub. Pájka ve ztuhlém stavu zabírá plochu asi o 5 % menší ne tekutá pájka. Tupé spoje se pájejí s určitým přesahem, aby nedocházelo hlavně při pájení ocelí k rychlému porušení spoje při namáhání spoje ohybem. [1]

Úhelný spoj má v tzi pevnost ne0 tupý spoj typu I. Úhelné pájené spoje se navrhuji pro pájení materiál , které jsou namáhány ohybem, dynamicky a také v p ípad pokud po spojení bude následovat další zpracování jako je t eba kování, válcování atd. Úhel spoje, který svírají pájené plochy, ovliv uje pevnost zikmého spoje. Pevnost zikmého spoje je nejv tzi p i úhlu 60 °.

### **6.3. P eplátovaný spoj**

P eplátovaný spoj je velmi spolehlivý a také jeho výroba je nejjednoduzzí, proto0e p i pájení p eplátovaného spoje pracovník nepot ebuje 0ádné upev ovací prost edky. P eplátovaný spoj se vyu0ívá p edevzím p i pájení tenkých plech a trubek. [1]

Ohybový moment vyvolává dopl kové odlupovací nap tí 0, které nabývá maxima v koncích spoje. Je n kolikrát v tzi ne0 nap tí v tahu. Naproti tomu u oboustrann p eplátovaného spoje nebo spoje zikmého odlupovací nap tí 0 odpadá. Nap tí ve smyku je v zatí0eném spoji rozd leno nerovnom rn s maximem na za átku a konci spoje. [1]

### **6.4. T-spoje**

T-spoje se pou0ívají pro pájení materiál , které mají tlouz ku v tzi ne0 2 mm. Správn spájený spoj poznáme podle vzniku koutového p echodu pájky na protilehlé stran spoje. Namáhání pájeného spoje ohybem nemá u T-spoje takový vliv na pevnost jako u tupého I . spoje. [1]

### **6.5. Kombinovaný spoj**

Kombinované spoje jsou slo0eny z kombinace tupého spoje, p eplátovaného spoje, pop ípad zikmého spoje. Výhodou kombinovaných spoj v porovnání s tupými I-spoji je jejich v tzi pevnost, ale naopak jejich nevýhodou je jejich neekonomi nost ve srovnání s tupými I-spoji. [1]

Prohýbané spoje se používají při pájení plechů na m kko. Na prohýbané spoje jsou kladeny vysoké nároky na těsnost proti plynům a kapalinám. Vysoká pevnost není vyžadována od prohýbaného spoje. [1]

## 7. Pracovní podmínky pájení

Abychom dosáhli kvalitního pájeného spoje musíme dodržet následující pravidla:

- Pájené plochy musí být bez nečistot a vhodně upravené,
- Dležitá je správně zvolená kombinace základní materiál-pájka-tavidlo
- Během samotného pájení by měl být pájený materiál upevněn pomocí upevňovacích prostředků, aby nedošlo k jeho samovolnému pohybu,
- Dležitá je také správné zvolení způsobu ohřevu,
- Vytvoření optimálních podmínek tečení pájky ve spoji,
- Správně zvolená metoda ochlazování a konečné úpravy pájené součásti.

[1]

## 8. Způsob pájení

Jednotlivé způsoby pájení používané ke spojování materiálů jsou rozdílné ve způsobu ohřevu a rychlosti ohřevu pájeného místa. Ohřev může být pouze oblast pájeného spoje a nebo může ohřev pokrývat celý objem součásti. Dalšími rozhodovacími kritérii při výběru vhodné metody pájení jsou investiční a provozní náklady, potřeba pracovního prostoru a možnost mechanizace a automatizace pracovního pochodu pájení. [1]

Jakost pájeného spoje je závislá na konstrukci spoje, výběru správné pájky a také na metodě ohřevu pájených součástí. Pájené výrobky musí být v místě styku rovnoměrně a celkově zahřáté nad teplotu bodu tavení pájky. [4]

### 8.2. Pájení pájkou

Pájení pájkou patří mezi nejstarší a nejrozšířenější způsoby pájení kovů (měď, olovo, zinek, ocel). Pokud použijeme tavidlo, tak může pájkou

inkované plechy. Pájení páje kou se využívá v elektronickém průmyslu, ve spojovací technice, při instalátorských, klempířských a opravářských pracích. Hlavní výhodou pájení páje kou je rychlý přenos tepla a jeho přesné smísení do přesně určeného místa spoje. Součástí páječky je kovové pájedlo, které je pevně připevněno k držadlu. Hmotnost pájedla je v rozmezí od 20 do 1 000 g.[1]

### **8.3. Reakční pájení**

Při reakčním pájení se využívá reakčních vlastností chemických sloučenin, které jsou součástí pájky. Během pájení se tyto chemické sloučeniny rozkládají na kov a produkty, které plní funkci tavidla. Reakční pájení je způsobem kapilárního pájení hliníku. Pájka a tavidlo je roztok solí  $ZnCl_2$  a  $SnCl_2$ , resp.  $CdCl_2$  a případně dalších halových solí těžkých kovů ve směsi s destilovanou vodou. Teplota tavení těchto solí je nízká. Reakční pájení se používá pro pájení hliníku a jeho slitin. Spájené spoje musíme po pájení očistit kyselinou dusičnou, protože vzniklé produkty pájení by mohli způsobit korozi kovu. Nevýhodou reakčního pájení je nízká odolnost spoje proti korozi a nákladné odstranění zbytků po pájení. [1]

### **8.4. Vtírací pájení**

Vtírací, někdy se říká taky zkrabací, pájení je metodou nánosového pájení při kterém se nepoužívá tavidlo pro odstranění oxidové vrstvy. Při vtíracím pájení se oxidy odstraní z povrchu kovu mechanickým zkrábáním pod vrstvou roztavené pájky bez pomoci tavidla. Oxidová vrstva se odstraní pomocí drátěného kartáče, ocelového zkrabáku a nebo samotnou tyčkovou pájku. Vtírací pájení se používá pro spojování hliníku a jeho slitin. [1]

Vtírací pájení probíhá tak, že nejprve se ohřejí pájené plochy na teplotu tavení pájky na přibližnou teplotu 250 °C a potom se do místa spoje vloží pájka, která vlivem tepla taje. Pod roztavenou pájkou se odstraní oxidová vrstva. Po odstranění oxidu z povrchu kovu smáčí pájka čistou plochu materiálu, čímž dojde ke spojení se základním materiálem. [1]

Stejně jako vtírací pájení je pájení ultrazvukem metodou nánosového pájení bez použití tavidla. Oxidová vrstva se odstraní z povrchu kovu pomocí kavitace. Kavitace vzniká působením ultrazvuku v roztavené pájce. [1]

Zařízení na ruční pájení ultrazvukem se skládá z vysokofrekvenčního generátoru a z vibrátoru. Vysokofrekvenční generátor produkuje střídavý proud o příbližné frekvenci 22 kHz. Vibrátor je spojen s vysokofrekvenčním generátorem pomocí ohebného kabelu o délce asi 1,5 m. Zařízení je připojeno do sítě s napětím 220 V. [1]

Pájení ultrazvukem se používá pro spojování hliníku a jeho slitin. Pro spojování materiálů touto metodou se používají cínové pájky a nebo pájky na základě ZnCd, resp. ZnSn. Pájené místo musíme ohřát v jiném tepelném zdroji na teplotu tavení použité pájky na 250 °C. K ohřátí pájené plochy se nejčastěji používá plamen. [1]

Ultrazvukové pájení našlo své uplatnění v elektrotechnice a v opravárenství. V elektrotechnice se pájení ultrazvukem využívá pro spojování hliníkových vodičů a v opravárenství slouží k vyplnění povrchových vad hliníkových odlitků. [1]

## **8.6. Pájení vlnou**

Pájení vlnou je považováno za první způsob hromadného strojního pájení. Princip pájení vlnou vymyslel Angličan Strauss, který si tento způsob pájení patentoval v roce 1955. Pájení vlnou mělo velmi rychlý rozmach, protože jeho zavedení do výroby snížilo počet pracovních sil a zvýšilo jakost a spolehlivost pájených spojů. [3]

Pájení vlnou probíhá ve třech fázích. V první fázi dojde k aktivaci pájených prvků. Nepříznivý je vliv oxidů, které se vyskytují jak na povrchu cínové lázně, tak vznikají i na povrchu pájených prvků. Ve druhé fázi musíme předehřát desky plozných spojů se součástkami na teplotu 100 °C, abychom nezapomínaly vznik tepelného šoku při kontaktu desky s roztavenou pájkou. V poslední fázi dochází k vlastnímu pájení vlnou. Dojde ke spojení součástky a vodivého spoje desky plozných spojů roztaveným kovem. [3]

Tato metoda pájení brání vzniku oxidace a úniku t kavých látek z lázn a tím chrání pájený kov. Pájení ponorem je metodou kapilárního pájení. P i pájení ponorem je láze oh ívána tepelným zdrojem. P i pájení ponorem se sou ástky vloží na ur itou dobu do lázn . Doba, po kterou jsou sou ástky pono ené v lázni, je závislá na druhu, tvaru a mno0ství pájených p edm t . P i m kkém pájení ponorem se sou ástky vkládají do lázn na 3 a0 10 s, p i tvrdém pájení se pono í do lázn na 0,2 a0 20 minut. Roztavená láze brání p ístupu vzduchu k pájenému místu, tak0e nedochází k povrchové oxidaci. [1,6]

Podle druhu lázn d líme pájení ponorem na:

- Pájení v solné lázni
- Pájení v lázni tavidla
- Pájení v kovové lázni [1]

Výhody pájení ponorem:

- Rovnom rné oh átí sou ásti,
- Lze pájet kusov i hromadn ,
- Jednoduchá kontrola a regulace teploty lázn ,
- Mo0nost vyu0ít za ízení ur ené k tepelnému zpracování kov ,
- Pájení m 0e provád t nekvalifikovaná pracovní síla,
- Je zabrán no p ístupu vzduchu, tak0e nedochází k oxidaci. [1]

## **8.8. Pájení v peci**

Pájení v peci je metodou kapilárního pájení. P i pájení v peci je oh íván celý objem pájené sou ásti. Mezi hlavní p ednosti pájení v peci pat í mo0nost pájení sou ástí slo0it jzích tvar s r zným po tem spoj najednou. Díky rovnom rnému oh ívání a ochlazování nedochází k vnit nímu pnutí a deformaci sou ásti. [1]

Podle typu atmosféry d líme pájení:

- V normální atmosfé e za pou0ití tavidla,
- V ochranné atmosfé e bez pou0ití tavidla,
- V reduk ní atmosfé e [1]

závislé na druhu základního materiálu, množství a rozměrů pájených součástí. Pájení v peci se používá pro pájení velkého množství malých součástí a nebo když pájené součásti vyžadují ohřev v peci. [1]

## 8.9. Pájení ve vakuu

Pájení ve vakuu se řadí mezi moderní způsoby spojování materiálů. Dříve se pájení ve vakuu uplatňovalo především v výrobě elektronik, elektrotechnických součástí a jiných součástí, které vyžadují vzduchotěsnost spojů. V současné době se pájení ve vakuu používá především v výrobě součástí proudových a raketových motorů, turbínových lopatek, oběžných kol turbokompresorů, tepelných výměníků, voztinových konstrukcí a součástí pro jadernou techniku a mřížící přístroje. Pájení ve vakuu je možné použít i pro pájení keramiky a grafitu. Pájené součásti mohou být z tenkostěnných a tlustostěnných materiálů, lze pájet i stejnorodé a kombinované materiály. Pájení se provádí ve vakuové peci, která zajišťuje rovnoměrné ohřívání součástí na teplotu pájení způsobem řízeného vícestupňového ohřevu. Tímto se předejde nečistotám, deformaci a vzniku vnitřních napětí v tenkých částech výrobku. Při pájení se nepoužívá tavítko, takže mezery spoje mohou být užší než 0,1 mm. Díky velkému kapilárnímu tlaku pájky dochází k dokonalému vyplnění všech mezer ve spoji pájkou. Stejně jako u ostatních metod pájení je velmi důležitá čistota pájených ploch a upevňovacích prostředků. Pro pájení ve vakuu jsou vhodné pájky z čistých kovů s vysokou teplotou tavení nebo pájky obsahující nikl a nebo pájky na bázi drahých kovů. Naopak pájky obsahující zinek, kadmium a draslík jsou nevhodné pro pájení ve vakuu, protože tyto pájky mají při teplotě pájení vysoký odpařovací tlak. Část pájené součásti, která nemá být smáknuta pájkou, se ošetřuje ochranným nátěrem. [1]

Technologický postup pájení ve vakuu:

- Uložení dílů do vnitřního prostoru pece a jeho uzavření,
- Vyerpání vzduchu z pece na tlak podle druhu základního materiálu,
- Odplynění ohřívacích těles, obložení pece a vsázky a jejich ohřev na pájecí teplotu,
- Pájení po dobu 3 až 10 minut, případně doplnění tepelné zpracování, například austenitizace, říhání apod.,

- na teplotu pibližně 800 °C a následující umělé ochlazování,
- Vyrovnání podtlaku ve vnitřním prostoru pece s atmosférickým tlakem .
  - zavzdušnění pece,
  - Otevírání pece a odvoz pájených předmětů . [1]

### **8.10. Pájení odporovým teplem**

K odporovému pájení slouží svařovací stroje, které pracují s menšími proudy, tlaky a delšími časovými. Hlavní součástí svařovacího stroje je transformátor. Další částí svařovacího stroje jsou uhlíkové nebo kovové elektrody, které vyvíjí teplo. Teplo je následně vedeno do materiálu v oblasti spoje. [1]

Teplota během pájení závisí na malé plochu a je jednoduše kontrolována podle bodu tavení pájky, která se vkládá předmětem s předávkem tavidla ke spoji nebo do spoje. Proud ní elektrického proudu se přeruzí v okamžiku, kdy se pájka roztaví. Tlak se nepřeruzí, ale naopak se zvyšuje, aby vytlačilo tavidlo. Tlak se mírně zvyšuje až do doby ztuhnutí pájky. Během pájení tlak přeruzuje součásti u sebe a omezuje potřebné opravy. [4]

Výhodou odporového pájení je vysoká produktivita práce a rychlý ohřev v přesně ohraničeném prostoru. Pokud projde proud přímo pájenou plochou, tak neroztavené tavidlo funguje jako izolant, což je považováno za nevýhodu odporového pájení. Odporové pájení se používá pro pájení vodičů s tepelně citlivou izolací v elektrotechnické praxi. Dále se využívá pro pájení elektrických kontaktů na nosné dráčky a pro pájení stříbra a mědi. [1]

Odporové pájení se využívá pro spojování malých nepřehřátých spojů a dále se používá při výrobě elektrických přístrojů, spínačů atd. [4]

### **8.11. Indukční pájení**

Pájené součásti v bodě spojení se ohřívají tak, že induktor připojený na střídavý proud zvýšeného nebo vysokého kmitočtu a vhodně chlazený vodou se umístí v blízkosti pájeného spoje, takže na povrchu součástí vzniká působením indukovaných proudů potřebné teplo. Cívky jsou zapojovány přes



proy. Cívka je vyrobena z m d né trubky, kterou proudí chladící kapalina a m 0e mít jeden nebo n kolik závit . [4]

Teplo, které pot ebujeme k oh átí sou ástí na teplotu pájení, vzniká elektrickou indukci. Výhodou induk ního pájení je rychlý oh ev v d sledku velkého m rného výkonu v ohrani eném míst pájené sou ásti a krátká doba pájení. Induk ního pájením m 0eme spojovat dlouhé a válcové sou ásti. Induk ní pájení není vhodné pro pájení tvarov složit jích sou ástí. Induk ní pájení se nej ast ji vyu0ívá pro hromadnou výrobu sou ástí rota ního tvaru. [1]

Induk ní pájení se pou0ívá pro spojování ocelových, mosazných a bronzových sou ástí. Také se vyu0ívá pro pájení r zných slitinových materiál . Pokud jsou ne0elezné kovy dob e vodivé, tak pájení je mén výhodné. [4]

Sou ástí za ízení pro induk ní pájení je generátor, induktor a za ízení pro pájení. Generátor slou0í jako zdroj induk ního proudu. Pou0ívají se bu rota ní, jiskrové a nebo elektronkové generátory. Funkci induktoru je p edat elektrickou induk ní energii, kterou vyrobil generátor, do pájené sou ásti. Induktory se d lí podle ú innosti na vn jzí, vnit ní a plozné. [1]

## **8.12. Pájení plamenem**

Teplo pot ebné k oh átí sou ástí na teplotu tavení pájky získáme pomocí spalování ho lavé sm si plyn . Hlavním cílem ka0dého oh ívání pájeného materiálu je p esun tepla od zdroje tepla k pájenému materiálu. K vytvo ení pájecího plamene m 0eme pou0ít nap íklad propan, acetylén, svítiplyn, vodík a nebo zemní plyn. K pájení je mo0né pou0ít také tekutá paliva jako jsou t eba benzín, petrolej a nebo etylalkohol. Pájení plamenem se pou0ívá pro opravy, údr0bu, montá0 a kusovou výrobu. V kusové výrob se pájení plamenem provádí ru ním zp sobem, naopak hromadná výroba je pln mechanizovaná a automatizovaná. Hlavní výhodou pájení plamenem jsou nízké po izovací náklady. K pájení plamenem je zapot ebí zdroj plyn , pájecí ho áky a jeho p ísluženství a pomocné prost edky. [1,8]

Výhodně lze použít v následujících situacích:

1. Používá se tam, kde pájecí teplota je nižší než 800°C,
2. Používá se tam, kde je nízký objem produkce,
3. Používá se tam, kde je sériová výroba rozdělená na velké společenské části,
4. Používá se tam, kde musí být spájeny odlišné součásti během krátkého časového intervalu. [11]

Z toho je zřejmé, že tento proces je velmi flexibilní, a to je jeden z hlavních přínosů. Je však třeba mít na paměti, že rychlost výroby a konečné podoby součástí jsou závislé na pracovníkovi, který provádí pájení. [11]

### **8.13. Difúzní pájení**

Difúzní pájení se provádí pod tlakem při nižší teplotě než je solidus základního a přídavného materiálu. Difúzní pájení není metodou kapilárního pájení. K difúznímu pájení se používají odporové svářečky. V porovnání s pájením plamenem je difúzní pájení levnější. Výhodou difúzního pájení jsou nižší náklady na pájku, tavítko a na ohřev. Difúzní pájení se využívá pro pájení trubek Cu-Al v chladírenském průmyslu. [1]

### **8.14. Pájení infra červenými paprsky**

Infra červené paprsky slouží při pájení jako zdroj tepla. Rozdíl mezi infra červenými paprsky a jinými zdroji tepla je v tom, že tepelná energie se do spoje dostává bez dotyku pouze absorpcí paprsků. Výhodou pájení infra červenými paprsky je možnost ohřevat předem vložený v proužkové nádobě ve vakuu nebo ochranné atmosféře. Úpatnou vlastností pájení infra červenými paprsky je pomalý ohřev v porovnání s ohřevem plamenem. Pájení infra červenými paprsky se používá pro spojování tenkostěnných dílů z oceli, bronzu, mědi a mosazi, které mají dobrou absorpční schopnost. Také se využívá pro pájení kovu s keramikou nebo se sklem. [1]

Při exotermickém pájení jsou zdrojem tepla chemické reakce. K exotermickému pájení se používají pájky ve formě drát nebo kroužku, fólie nebo prázku. Chemická sloučenina, která slouží pro ohřev součástí, se nachází v dvoudílné kovové formě a nebo je vyrobena ve formě nákrůžku. Do chemické směsi je vložen zapalovač. Během spojování trubek se do vnitřku trubek použije ochranný plyn, který chrání kov proti oxidaci. K exotermickému spojování součástí není potřeba žádný specifický zdroj tepla. Výhodou exotermického pájení je v porovnání s pájením infračervenými paprsky rychlý ohřev. Spoje jsou dostatečně těsné a mají dobré mechanické vlastnosti. [1]

### **8.16. Pájení elektrickým obloukem**

Zdrojem tepla je elektrický oblouk stejnosměrného proudu, který vznikne mezi předávacím a základním materiálem. Pájení elektrickým obloukem se uplatňuje třeba při pájení mřížkových kabelových ok s kolejnicí pomocí svorníku, ve kterém se na pájeném konci nachází potěbné množství tavidla a stříbrné pájky. Na opačném konci svorníku je přívod elektrického proudu od zdroje. K pájení se používá ruční pistole. Stejnoseměrný proud vzniká v olověném akumulátoru s napětím 42 V. Pomocí olověného akumulátoru je možné vyrobit 150 spojů o průměru 25 mm. [1]

### **8.17. Pájení horkým vzduchem**

Společnost Sylvania vyrábí zařízení, které je složeno ze skleněné trubice zúžené na pracovním konci v trysku. Ve vnitřní části trubice je uložena topná spirála. Okolo topné spirály proudí vzduch nebo ochranný plyn zavedený do madla pájecí pistole. Pomocí tohoto zařízení je možno dosáhnout teploty 982 °C při výkonu 3,4 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>. [1]

### 9.1. Pájení m di

Pro pájení se používají m di obsahující kyslík v rozmezí od 0,06 % až 0,1 %. Legujícími prvky m di mohou být například stříbro, kadmium, zirkonium, telur a nebo chrom. M di obsahuje kyslík, fosfor, olovo, bismut a síru. Stříbro, kterým m di lze legovat m di v malém množství, neovlivňuje hájitelnost. Fosfor, který slouží k dezoxidaci materiálu, má nepříznivý vliv na elektrickou vodivost m di. Síra, olovo a bismut mají negativní vliv na tvárnost m di. Při pájení m di je výhodné použít pájky, které obsahují fosfor, protože u nich není potřeba používat tavidlo. Během pájení se část fosforu přemění na oxid fosforenatý, který potom přemění povrchový oxid na fosforenanitý. Fosforenanitý plní stejnou funkci jako tavidlo a zároveň překryje roztavenou pájku a nejbližší okolí spoje ochranným povlakem, takže vznikne dokonalý pájený spoj. [1]

K tvrdému pájení m di a slitin m di se používá pájek ze slitin m di a stříbrných pájek. Nejčastěji se pájí plamenem. Při pájení v peci s ochrannou atmosférou je nutno dbát na to, aby se m di nepoškodila tzv. vodíkovou nemocí; použijeme proto jiného ochranného plynu než vodíku. [2]

K pájení m di se používají odporové pece, solné lázně, vakuové pece. Dále se také používají třeba svařovací stroje a indukční ohřev. Nejčastěji se k pájení m di používají stříbrné, mosazné a fosforové m di. Výběr vhodné pájky je závislý na požadovaných nákladech na pájku a na metodě ohřevu pájeného materiálu. Pokud se pájení provádí v odporových pecích a pájí se pájkami, které obsahují zinek, těžké kovy a další prvky, je nutno použít tavidlo k docílení lesklého povrchu m di. Když se pájí v ochranné atmosféře. Ochranná atmosféra by měla obsahovat maximálně 2% vodíku při pájení běžně používaných druhů m di, u kterých není možné zaručit, že neobsahují kyslík a kyslík. [4]

Pokud pájíme m di součástí v solných lázních stříbrnými nebo mosaznými pájkami není třeba žádných zvláštních opatření. Čas potřebný pro pájení je krátký.

ch povrch odstranit pomocí vyvařování zbytků solí, aby nedošlo ke korozi materiálu vlivem vlhčících zbytků solí. [4]

### 9.1.1. Pájení slitin manganu

Způsob ohřevu je u všech slitin manganu stejný jako u pájení ocelových součástí. Způsob ohřevu je ovlivněn především tvarem a velikostí spojovaných součástí. Pece s ochrannou atmosférou se nepoužívají jenom pro pájení ocelových součástí, ale používají se také pro spojování mosazí, bronzů, slitin manganu s niklem. [4]

Součásti, v kterých slitin manganu jsou přítomné látky jako je třeba zinek. Tyto látky obsažené ve slitinách vytvářejí oxidační vrstvu na povrchu součástí a tím brání k vytvoření dokonalého pájeného spoje. Ochranná atmosféra v peci nemá žádný vliv na vznik oxidační vrstvy na povrchu materiálu. Vzniku oxidace lze zabránit pomocí suchého vodíku a nebo pomocí ztenčeného plynového plázně, ale i přesto je nutné použít tavidlo. Zbylé tavidlo je nutné po pájení odstranit. [4]

## 9.2. Pájení hliníku

Vliv na pájitelnost hliníkových materiálů má vznik oxidu hlinitého na povrchu základního materiálu. Tloušťka vrstvy oxidu hlinitého je 1,5 až 2 mm a další vlastností oxidu je vysoká teplota tavení, která je kolem 2050 °C. Charakteristickým znakem oxidu je jeho chemická stálost a rozpustnost pouze v některých látkách. Oxid je elektricky nevodivý a chrání proti atmosférickým vlivům. Další jeho vlastností je, že se pevně ulpívá na základním materiálu. Brání dobrému a snadnému pájení. Přitom čím roste se zvyšující se teplotou vrstva oxidu na povrchu materiálu. Na začátku pájení stoupá tloušťka povrchového oxidu rychleji a v průběhu pájení se ustálí na konstantní hodnotě kolem 0,2 mm. Pomocí tavidla je možné odstranit oxid z povrchu součástí při teplotě nad 500 °C. Při manganovém pájení je tavidlo neúčinné, protože manganové pájení probíhá při nižších teplotách. [1]

Pájení hliníku zaznamenalo svůj rozmach ve druhé světové válce. Pájení hliníkových součástí se používalo a i nadále používá v leteckém průmyslu a v průmyslu sdělovacím a raketové techniky. Hliníkové materiály se spojují různými

Metody spojování hliníku patří ruční pájení plamenem,

v pecích s normální vzduchovou atmosférou a v solných lázních. [4]

Pece pro nerozebíratelné spojování hliníku se vytápí elektricky a mají ventilátory pro umělé proudění vzduchu. Vzduch v peci obíhá přes topná tělesa, na nich se ohřívá a ohřátý vzduch přechází přes zboží. Tím je dosaženo rovnoměrného ohřívání zboží. Teplota by měla být udržována v rozmezí teplot 540 až 650 °C. Přesná teplota závisí na druhu pájky. [4]

Po dosažení ideální teploty pájení je doba pájení v peci u tenkých plechů v rozmezí 2 - 6 minut. V případě proužkových pecí je doba pájení 4 - 15 minut. Pro vytvoření dokonalého spoje je důležité, aby byli v jednom pájecím páse spojovány součásti stejné velikosti, tloušťky a průřezu. [4]

Pájení v peci umožňuje pájet jak malé tak i velké množství součástí. Pece se používají hlavně pro pájení dutých výrobků s malými otvory. Používají se tam, kde by byli velké problémy s odstraňováním tavidel zevnitř součástí. [4]

K ohřívání hliníkových pájených spojů slouží také elektrodové solné lázně. Roztavená sůl, kterou prochází stíhový proud má stejný složení jako tavidlo. Solné lázně jsou konstruovány podobně jako elektrodové solné lázně používané v tepelném zpracování ocelí. [4]

Chemické složení, metoda výroby a zpracování má vliv na pájitelnost hliníkových slitin stejný jako výběr vhodného typu pájky, tavidla a metody pájení. V současné době se používají zinkové pájky a průsluzná tavidla. Při výrobě pájek se používá elektrolytický zinek o vysoké čistotě z důvodu lepší odolnosti proti korozi. Pájky na bázi zinku se prodávají ve formě drátu, fólie, plátovaného povrchu atd. Cínové pájky se nehodí pro pájení hliníku. Z důvodu vzniku koroze nejsou vhodné pájky druhu Zn-Al, protože obsahují nečistoty. Důsledkem znečištění může být stárnutí, zkrácení a změny objemu. [1]

Nejvíce odolné jsou pájky typu CdZn, hlavně pájka eutektická. Odolné jsou také i jiné pájky ZnAl. Pájky na bázi SnPb nedostatečně chrání spoje proti korozi a pro vlhké prostředí se musí ošetřit nátěrem. Nekolik procentní přísada zinku nebo kadmia v pájce zlepšuje odolnost vůči korozi. Pájky typu cín-zinek, zinek-cín a pájka zinek-kadmium mají lepší odolnost než pájka SnPb. Pájky obsahující 90 %

m st íbra, m di, niklu a hliníku mají velmi dobrou

odolnost. [1]

V porovnání s pájkou Zn60Cd z kategorie pájek CdZn je odoln jzí eutektická pájka Cd48Zn. Koroze m 0e vzniknout i p i pájení malých pr ez jako jsou nap íklad tenké dráty.

V tavidlech pro m kké pájení jsou obsa0eny organické chloridy a fluoridy smíchané s vodou nebo organickým rozpouzt dlem ve form pasty. Sou ástí tavidla bývá nej ast ji chlorid zine natý, který reaguje p i dané teplot s hliníkem. Teplota je ovlivn na obsahem tavidla. [1]

### **9.3. Pájení oceli**

Vzechny druhy ocelí lze pájet, pokud se zvolí vhodná metoda pájení, pájka a tavidlo. Metoda pájení a vhodná pájka se volí podle chemického slo0ení a vlastností ocelí. Oceli m 0eme roz lenit na následující skupiny:

- Konstruk ní oceli nelegované,
- Konstruk ní oceli legované,
- Nástrojové oceli. [1]

Pájení ocelových sou ástí se stalo ve strojírenské výrob d le0itým technologickým procesem. Rozz ílo se pro výhodné vlastnosti n kterých pájek, zejména m di, její0 výhody se stejn dob e uplat ují jak p i pájení sou ástí r zné velikosti a r zného po tu, tak i p i pájení r znými zp soby oh evu. [4]

Nejrozz íen jzí metodou oh evu a pájení ocelových sou ástí m dí je metoda pájení v odporových pecích s ochrannou atmosférou. Jednoduchá p íprava i slo0itých sou ástí, snadné sestavování, mo0nost pou0ití nejr zn jzích tvar pájky, hromadná doprava pecí a dosa0ené výsledky pln odpovídají náro ným po0adavk m výroby. [4]

V odporových pecích s ochrannou atmosférou se pájí pájkami na bázi m di nap íklad sou ásti traktor , psací stroje, tiska ské a textilní stroje, radiop ístroje, zicí stroje, lednice a ná adí. [4]

#### **9.3.1. Konstruk ní oceli nelegované**

konstrukčních nelegovaných ocelí oceli třídy 10, 11 a 12. Pájitelnost ocelí na tvrdo je ovlivněna množstvím uhlíku. Množství uhlíku je ve skupině konstrukčních nelegovaných ocelí menší než 0,35%. Pokud je množství uhlíku pod 0,2 % je pájitelnost ocelí příznivá. Jestliže by ocel obsahovala větší množství uhlíku, mohlo by dojít při nevhodných podmínkách pájení k vypalování uhlíku. Vypalování uhlíku způsobí i uje pórovitost spoje a má nepříznivý vliv na změnu struktury základního materiálu. Při spojování součástí se využívají pájky na bázi mědi a niklu. Typickým znakem je rychlé rozpouštění oceli v roztavené pájce a precipitace. Precipitace je vyloučení zbylého rozpustného kovu v pájce a ve stykové ploše ve formě dendritů. Obsah rozpustného základního materiálu roste se vzrůstající teplotou a dobou spojování a mění se s obsahem pájky a s množstvím uhlíku v oceli. [1]

Nejčastěji metodou pájení tenkostenných součástí a rozměrných výrobků s velkým množstvím spoj je spojování pájkou na bázi mědi v proubových pecích s redukční atmosférou, nebo v nízkém vakuu. Výrobky jsou po pájení lesklé a není potřeba je dále zpracovávat. Díky krátké prodávce na teplotě 1150 °C, při které probíhá spojování součástí nevzniká, škodlivé zhrubnutí struktury základního materiálu. [1]

K pájení ocelových součástí o větších rozměrech se používá indukční ohřev, odporový ohřev a ohřev plamenem. Nejčastěji jsou mosazné pájky s obsahem niklu s pracovní teplotou 950 °C. K pájení tenkostenných trubek, profilů a plechů se používá pájení plamenem. Od spoje se vyžaduje, aby měl dobrou pevnost a příznivý povrchový vzhled. [1]

### 9.3.2. Konstrukční oceli legované

Legované konstrukční oceli se dělí na:

- Korozi-vzdorné
- žáropevné,
- žárovzdorné,
- Vysoce pevné oceli třídy 13 a 17.

Pájitelnost legovaných ocelí ovlivňuje množství legovacích přísad, které mají velkou afinitu ke kyslíku. Prvky, které mají nízkou entalpii tvorby oxidu, přispívají



e entalpie tvorby oxid vysoká, tak obsah chromu, titanu a hliníku je velmi důležitý pro pájitelnost. Chrom a uhlík ovlivují tvorbu tvrdých karbidů v okolí spoje. [1]

Při spojování legovaných ocelí je důležité počítat s jejich horší tepelnou vodivostí. Při lokálním ohřevu se musí zabránit přehřátí základního materiálu. Pájení plamenem se používá při pájení tvarů komplikovaných a rozměrů v těchto výrobcích. K pájení se využívá neutrální nebo slabě karburující plamen. Oxidující plamen není vhodný. Před pájením je nutno pájené plochy chemicky nebo mechanicky očistit a po spojování odstranit zbylé tavidlo. [1]

#### **9.4. Pájení litiny**

Způsobu tvrdého pájení lze použít u všech druhů litiny. Zpravidla se však tvrdé pájení používá při opravách poškozených litinových součástí. Před pájením pracovní plochy pečlivě očistíme pískováním nebo koncentrovanou kyselinou solnou. Na očištěné plochy nanese tavidlo (nejlépe pastu) a pájené součásti sestavíme dohromady. Součásti předehříváme a s přidáním dalšího tavidla ohřejeme na pájecí teplotu; zároveň nanese do spáry pájku. Potom ohřívání přeručíme a součást ponecháme pomalu vychladnout. Pro pájení litiny se téměř výhradně používá mosazných pájek, protože teplota pájení nemá překročit 950 °C. Proto je používání mědi vyloučeno. [2]

Litina obsahuje výrazné množství síry a fosforu neoceli a také se v litině nachází výrazný obsah uhlíku. Obsah uhlíku v litině je v rozmezí 3 až 3,5 %. Uhlík se vylučuje v podobě grafitu a křemíku. Teplota tání se pohybuje v rozsahu teplot od 1150 do 1250 °C. Teplota tavení je závislá na obsahu uhlíku v litině. K pájení se používají zedé, bílé a nebo temperované litiny. [1]

V praxi se nejčastěji používá zedá litina. Žedá litina je slitina železa, uhlíku a křemíku. V zedé litině může být obsažen fosfor a mangan. Mechanické vlastnosti zedé litiny jsou určovány grafitem. Z tohoto důvodu jsou mechanické vlastnosti zedé litiny výrazně nižší než u oceli. [1]

Výhodou zedé litiny je její dobrá pevnost v tlaku, ale naopak nevýhodou litiny je nižší pevnost v tahu. Plastické schopnosti zedé litiny jsou zanedbatelné. Vrubová houževnatost a pružnost zedé litiny je také nepatrná. Žedá litina je citlivá na

rovnomrný oh ev. Proto je dle0ité zabránit vzniku koncentrací nap tí v sou ásti. [1]

P ed za átkem pájení je poteba pájené sou ásti p edeh át. K p edeh ívání malých výrobk slou0í pece, které p edeh ívají sou ásti v celém jejich objemu. V tí sou ásti se p edeh ívají pouze v míst spojování, tak aby mohlo docházet k rovnomrnému roztahování a smrzoování spoje. Na smá ivost zedé litiny má významný vliv grafit, který se nachází na pájených plochách. Grafit se odstra uje z povrchu materiálu bu mechanicky ocelovým kartá em a nebo pískováním. Mangan, chrom a nikl jsou prvky, které stabilizují rozpuzt ý uhlík a vytvá ejí dobré podmínky pro pájení. [1]

Smá ení litiny je ztí0eno obsahem grafitu v litin a tvo ením oxidu k emíku i p i pou0ítí ochranné atmosféry. Proto se ásto litina oduhlí uje zp sobem zavedeným firmou Kolene Corp., Detrit. Ve van nebo kelímku z plechu je nápl roztavené soli o teplot 450 °C. Nádr0 soli tvo í jeden pól, zav zené zbo0í se záv sem druhý pól stejnosm rného proudového okruhu. Stejnosm rné nap tí je 3 V a proudová hustota na zbo0í je asi 5 A/dm<sup>2</sup>. P epína dovoluje st ídavé zapnutí p edm tu jako anodu nebo katodu. [4]

## 10. Ekonomika pájení

P i výb ru metody pájení a druhu pou0ité pájky je zapot ebí vycházet z ekonomicko-technických parametr jednotlivých zp sob pájení a charakteristik pájek. Pokud se firma rozhodne pou0ít ke spojování sou ástí ru ní metodu pájení, musí po ítat s tím, 0e bude pot ebovat v tí po et zam stnanc ne0 u strojního pájení a také bude pot ebovat zam stnance s vyzzí kvalifikací. Dalzí nevýhodou ru ního pájení je vyzzí spot eba pájky, ni0zí produktivita práce a vyzzí re0ijní náklady. Z t chto d vod je z ekonomického hlediska výhodn jzí strojní pájení. [1]

vidla a z p sobu pájení vycházíme z ekonomické analýzy. Pomocí ekonomické analýzy porovnáváme různé pájky, tavidla a metody pájení z ekonomického hlediska. Pomocí této analýzy vybereme nejefektivnější metodu pájení, pájku a tavidlo. Pomocí ekonomické analýzy můžeme vypočítat celkové provozní náklady na pájení. Na základě vypočítaných celkových provozních náklad se rozhodujeme pro nejvhodnější pájku, tavidlo a metodu pájení. [1]

Vztah pro výpočet celkových provozních náklad je:  $N=N_h+N_z$

$$N_h=N_a+N_b+N_e$$

$$N_z=N_d+N_c$$

Vysvětlivky:

$N_a$  . náklady na mzdu pracovníka

$N_b$  . režijní náklady

$N_c$  . náklady na pájku ( náklady na pájky jsou uvedeny v tabulce)

$N_d$  . náklady na tavidlo

$N_e$  . amortizační náklady na pájecí zařízení [1]

**Tabulka 18: Proizvodací náklady na jednotlivé pájky**

Označení pájky	forma	Průměr [mm]	Množství [g]	Cena
S-Sn96,5Ag3Cu0,5	drát	0,75	500	479 K
S-Pb60Sn40	drát	2	500	508 K
Sn63Pb37	drát	0,75	500	971 K
S-Sn96Ag4	drát	1	500	1 383 K

Zdroj: <http://www.vpcentrum.eu/pajka-sn96ag4-drat-1mm-0-5kg-tavidlo-f-sw32-2-5>

## 11. Experimentální stanovení pevnosti spoj vybraných kovových materiál pájených mechanickými pájkami různých typ

### 11.1. Příprava vzork

Na padacích nůžkách byly rozstříhány pozinkované ocelové plechy o tloušťce 0,8; 1,0; 1,5; a 2 mm na pásy o délce 100 mm a šířce 20 mm. Z pozinkovaných plechů o rozměru 1x2 m bylo nastříháno 4x500 ks pásek. Následně byly pásy mechanicky očištěny.

Obrázek 1: Padací nůžky



Zdroj: soukromý archiv

### 11.2. Příprava a metoda pájení

Před vlastním pájením se musely vzorky označit číslem vzorku, který se skládal z velikosti pleťování a z požadovaného čísla vzorku. Například vzorek, který měl délku pleťování 2,5 mm a v pořadí byl první, tak měl označení 2,5/1.

Dále byly všechny pájené pásy očištěny bezprostředně před pájením tavidlem v místě spoje z důvodu odstranění oxidační vrstvy. Jako tavidlo byla použita tzv. pájecí voda. Pájecí voda byla vyrobena přidáním zinku do kyseliny solné. Pájení se provádělo na zamotové cihle, aby nedocházelo k pohlcování tepla a naopak abychom dosáhli dokonalého ohřátí pájeného materiálu. Podložka byla z nehořlavého materiálu a neochlazovala pájený materiál. Během experimentu

dené tabulce. Další tabulky uvádí druh použitého základního materiálu a délky jednotlivého p eplátování.

Tabulka 19: Seznam použitéch pájek

Pájka	Pr m r [mm]
S-Sn96,5Ag3Cu0,5	1,00
S-Pb60Sn40	2,00
SN100C-SnCu0,7Ni	2,00
Sn63Pb37	1,62
S-Sn96Ag4	1,00
S-Pb48Sn32Bi	1,00

Tabulka 20: Seznam použitéch plech

Druh materiálu	Tlouz ka plechu [mm]
Pozinkovaná ocel	0,8
Pozinkovaná ocel	1,0
Pozinkovaná ocel	1,5
Pozinkovaná ocel	2,0

Tabulka 21: P ehled p eplátování pájených vzork

P eplátování [mm]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]
2,5	50
5	100
7,5	150
10	200
12,5	250
15	300

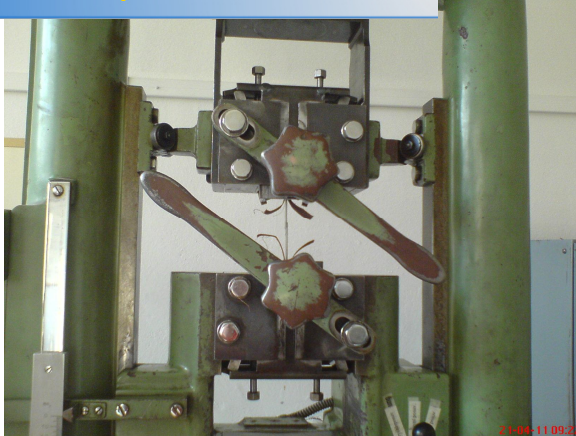
n zp sobem metodou pájení plamenem. K oh átí pájeného materiálu byl pou0it propan-butan s atmosférickým ho ákem. V okam0iku, kdy byl pájený materiál vhodn oh átý, se p ilo0ila k pájenému místu pájka, které vlivem p sobení kapilárních sil rovnom rn zatekla do spoje. Poté bylo oh ívání ukon eno a pájka ztuhla. Tímto zp sobem bylo zhotoveno 12 vzork s p eplátováním 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15.

### **11.3. Zkouyka tahem**

Zkouzka tahem se provád la na univerzálním trhacím stroji ZDM 5. Na univerzálním trhacím stroji bylo mo0no m it síly v rozmezí 0-10 000 N. Na stroji bylo mo0no vyu0ít n kolik druh záva0í. Experimenty byly provád ny na trhacím stroji p i zav zeném záva0í A.

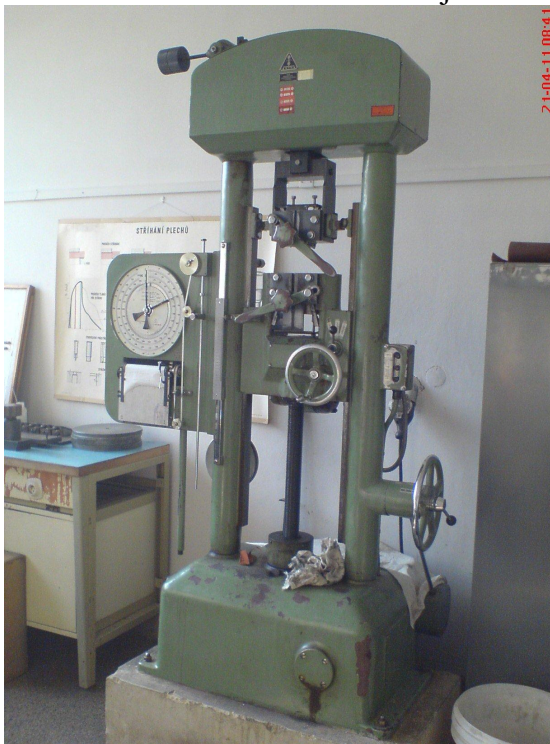
Spájený vzorek se upnul do elistí univerzálního trhacího stroje. Z d vodu zabrán ní prokluzu byl vlo0en brusný papír mezi vzorek a elisti univerzálního trhacího stroje. Po upnutí vzorku do univerzálního trhacího stroje byl p epnut trhací stroj do pracovního re0imu, zkontrolován ciferník zda se ru i ka nachází na nule a následn byl stroj zapnut tla ítkem start. Po zapnutí univerzálního trhacího stroje se dolní elist pohybovala vertikálním sm rem dol od staticky upevn né horní elisti. elist se v pracovním re0imu pohybovala dol vertikálním sm rem rychlostí zat 0ování 6 mm/min. Po p etr0ení vzorku byl trhací stroj vypnut a elisti byly uvoln ny a vzorek byl vyjmut z elistí trhacího stroje. Poté byl trhací stroj p epnut do re0imu rychloposuv a elisti byly vráceny do p vodní pozice. Po vyjmutí roztr0eného vzorku bylo visuálním pozorováním zjizt no, zda došlo k p etr0ení vzorku ve spoji nebo v materiálu. Dále bylo p em eno mno0ství ulp né pájky na ploze p eplátování pájeného materiálu. Nam ená hodnota síly byla ode tena z ciferníku univerzálního trhacího stroje a následn byla zapsána do tabulky v MS Excel. Do tabulky byla také zapsána hodnota skute ného p eplátování pájeného materiálu. Tento postup byl opakován u 6 typ pájek a 4 pozinkovaných ocelových plech o tlouzkách 0,8; 1,0; 1,5; 2.

elistí trhacího stroje



Na níže uvedeném obrázku je univerzální trhací stroj ZDM 5 na kterém byly prováděny zkoušky tahem. Na levé části trhacího stroje je vidět ciferník ze kterého byly odečítány naměřené hodnoty síly. Uprostřed stroje jsou umístěny elisti do kterých byly upínány vzorky určené k roztržení. Na pravé straně je ovládání univerzálního trhacího stroje pomocí kterého se stroj zapíná a vypíná. Vedle ovládání stroje se jezdí nachází páčka pomocí které se stroj přepíná do těchto režimů.

Obrázek 3: Univerzální trhací stroj ZDM 5



je vzorek s p eplátováním 2,5 mm roztr0ený univerzálním trhacím strojem. Na p eplátované ploze je vid t ulp ná pájka na pájeném materiálu.

Obrázek 4: Roztrfžený vzorek s p eplátováním 2,5 mm



#### 11.4. Vyhodnocení nam ěných hodnot

Hodnoty síly nam ěné univerzálním trhacím strojem a ode tené z ciferníku trhacího stroje byly zapsány do tabulky v MS Excel. Na základ ě nam ěné síly a plochy p eplátování byla vypo ítána mez pevnosti podle vztahu:

$$R_m = F/S \text{ [MPa]} \text{ [5]}$$

Do tabulek byly zaneseny nam ěné hodnoty síly, plocha p eplátování, mez pevnosti, zp sob prasknutí spoje a ozna ění vzorku. Každá tabulka je ozna ěna typem pájky, druhem plechu a tlouzkou plechu. Závislost síly na ploze p eplátování byla graficky znázorn ěna pomocí bodového grafu. Jednotlivé body v grafu pro každou pájku byla prolo0ena spojnicí logaritmického trendu. Grafickou metodou pomocí bodového grafu byla znázorn ěna závislost síly na ploze p eplátování u jednotlivých typ ů plech ů, tedy u plech ů tlouzkou 0,8; 1,0; 1,5; 2. Dále byla graficky znázorn ěna závislost síly na ploze p eplátování u jednotlivých typ ů pájek. V ní0e uvedené tabulce jsou uvedeny nam ěné hodnoty pájky Sn63Pb37 a pozinkovaného ocelového plechu. Všechny nam ěné hodnoty jsou uvedeny v p íloze. Tato tabulka má pouze ilustrativní charakter.

Plech	pozink ocel
Tlouz ka plechu	0,8 mm
Pájka	Sn63Pb37
Pr ům ěr pájky	1,62 mm



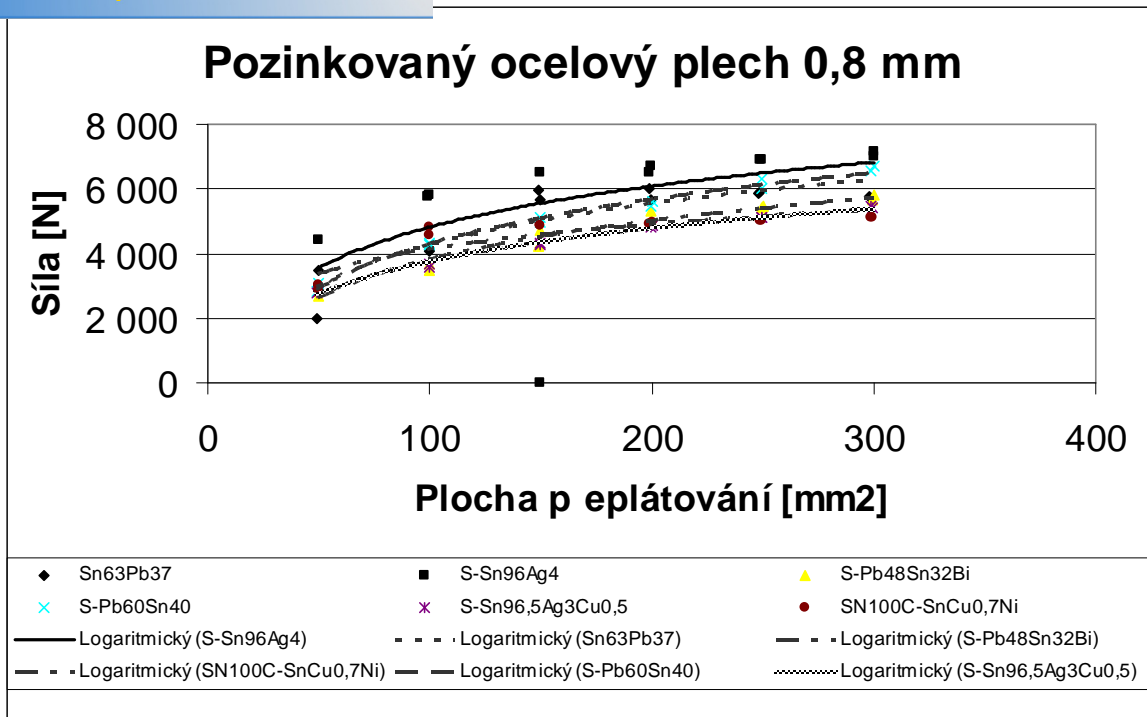
vzorůku		Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)	Mez pevnosti [MPa]
2,5/1	1 980	49,525	spoj	39,98
2,5/2	3 500	49,65	spoj	70,49
5/1	4 100	99,6	spoj	41,16
5/2	4 060	99,75	spoj	40,70
7,5/1	5 660	149,925	spoj	37,75
7,5/2	5 940	149,1	spoj	39,84
10/1	5 660	199,8	spoj	28,33
10/2	6 000	198,7	spoj	30,20
12,5/1	5 900	248,75	spoj	23,72
12,5/2	5 840	248,375	spoj	23,51
15/1	5 740	298,05	spoj	19,26
15/2	5 730	298,95	spoj	19,17

### 11.5. Výsledky experiment

Celkov byly nam eny a graficky vyhodnoceny hodnoty 4 základních materiál a 6 pájek. U každého pozinkovaného ocelového plechu o tlouš ce 0,8; 1,0; 1,5 a 2 mm bylo porovnáno 6 pájek. Grafy znázor ují závislost zatížení na ploze p eplátování.

Dále jsou graficky zpracovány nam ené hodnoty vzech pájek, které byly k experimentu pouity. U jednotlivých pájek jsou v grafu porovnány 4 základní materiály respektive 4 r zné tlouš ky.

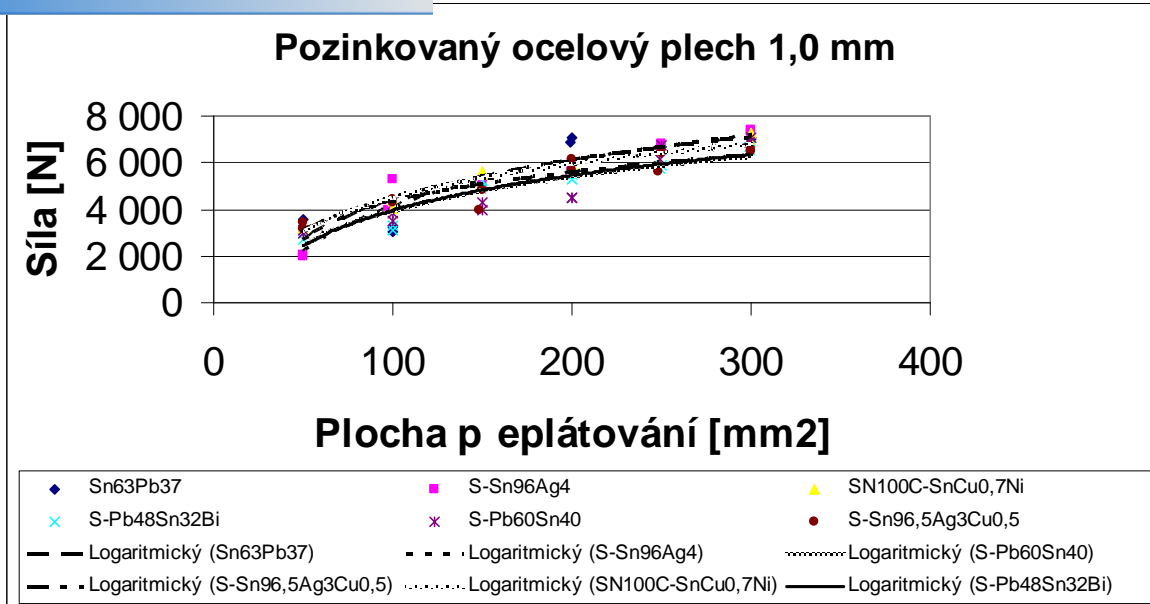
h 0,8 mm



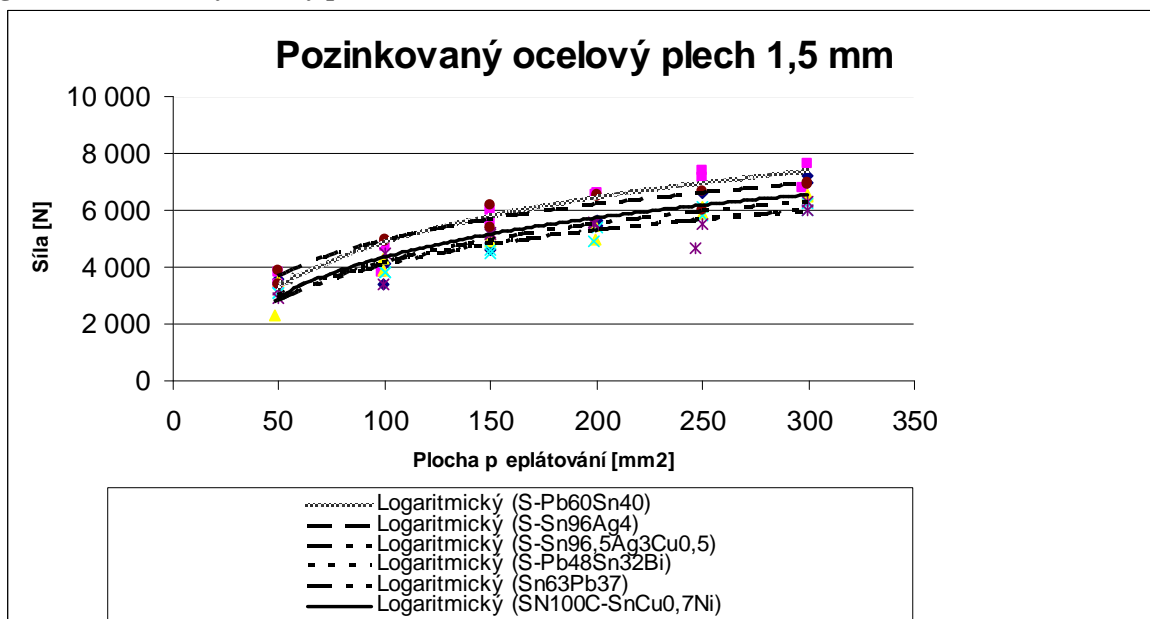
Výše uvedený graf znázorňuje závislost zatížení na ploše p eplátování. Z grafu vyplývá, že se zvyšující se plocha p eplátování roste síla potřebná k přetržení spoje. Z toho tedy vyplývá, že pokud chceme, aby spoj odolával vyššímu zatížení je potřeba zvýšit plochu p eplátování. Z grafu dále vyplývá, že při p eplátování 300 mm<sup>2</sup> má nejvyšší pevnost pájka S-Sn96Ag4.

V grafu číslo 2 jsou graficky zobrazeny naměřené hodnoty zesti pájek a pozinkovaného ocelového plechu o tloušťce 1,0 mm. Graf znázorňuje u jednotlivých pájek závislost síly na ploše p eplátování. Stejně jako z grafu číslo 1 vyplývá i z grafu číslo 2, že pokud se zvyšuje plocha p eplátování, tak se také zvyšuje zatížení. Graf také ukazuje, že při p eplátování 300 mm<sup>2</sup> má nejvyšší pevnost pájka Sn96Ag4.

h 1,0 mm

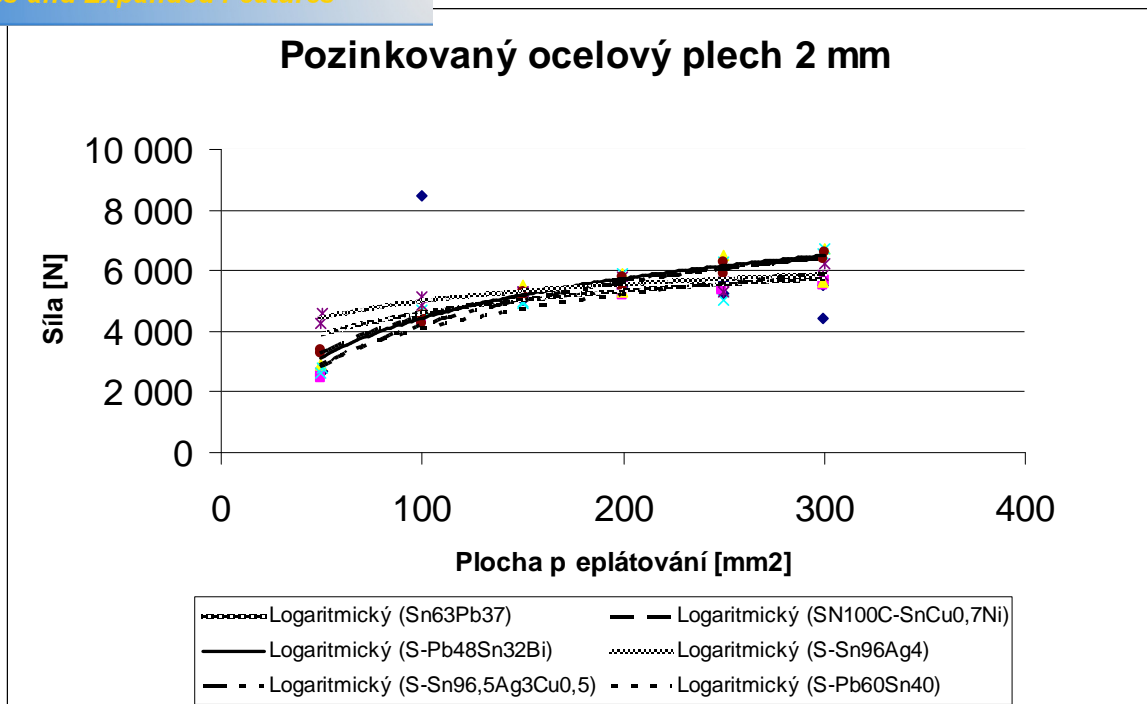


graf 3: Pozinkovaný ocelový plech 1,5 mm

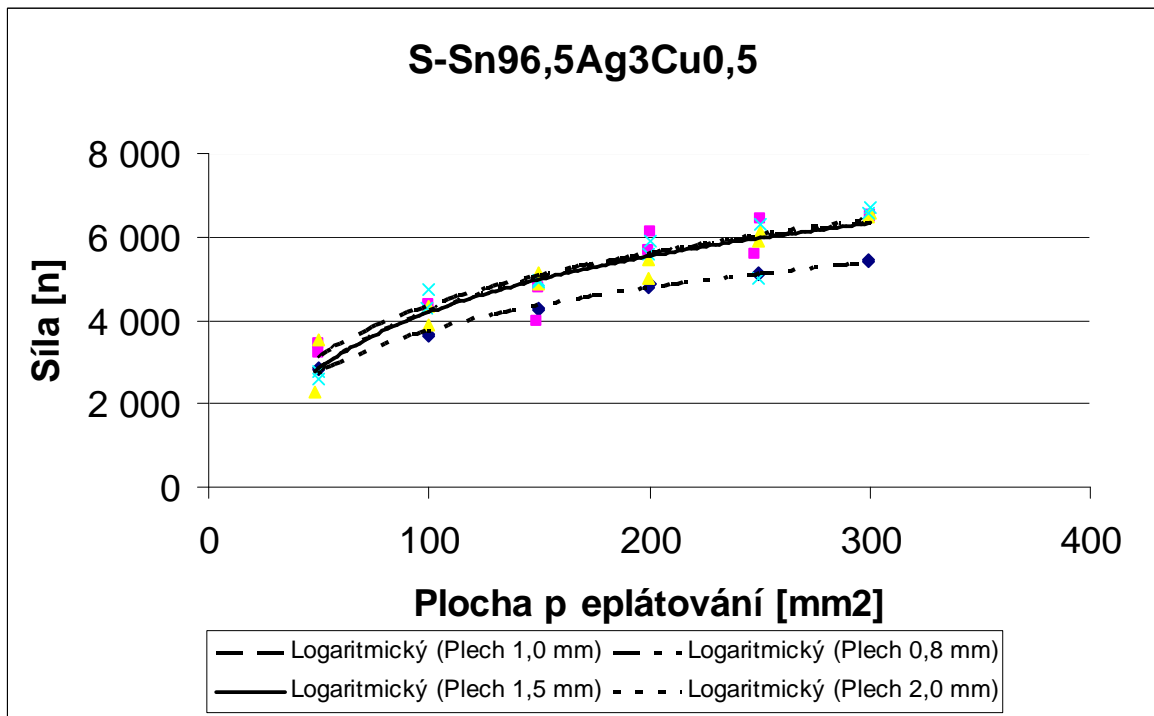


Z grafu 3 je patrné, že nejvyšší pevnost pozinkovaného ocelového plechu o tloušťce 1,5 mm vykazuje olovnatá pájka S-Pb60Sn40. Naopak nejnižší pevnost spoje při ploše přelátování 300 mm<sup>2</sup> vykazuje měkká pájka s přísadou bismutu S-Pb48Sn32Bi.

ou- ce 2 mm

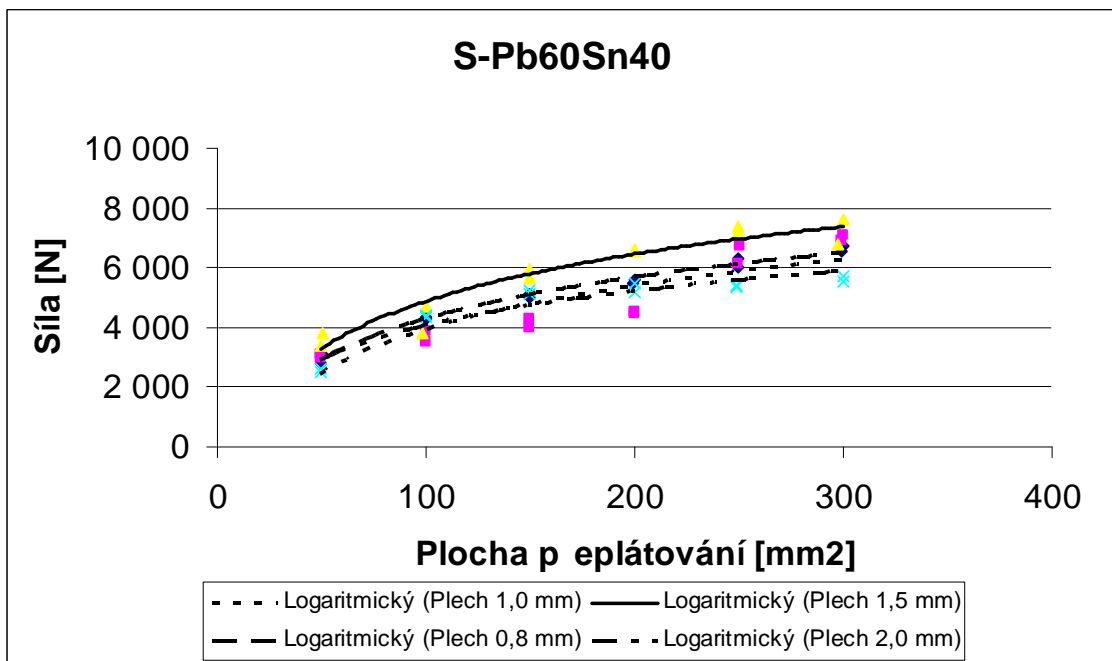


Graf . 4 ukazuje, že nejvyšší pevnost vykazují měkké pájky S-Pb48Sn32Bi a SN100C-SnCu0,7Ni. Z grafu je dále patrné, že pevnost spoje ovlivňuje plocha p eplátování vzrůstajícím trendem. Čím je plocha p eplátování větší, tím je větší pevnost spoje. Z výše uvedených grafů je dále patrné, že čím je tloušťka plechu menší, tím je pevnost spoje větší. Z toho vyplývá, že pevnost spoje můžeme ovlivnit také výběrem vhodné tloušťky materiálu.



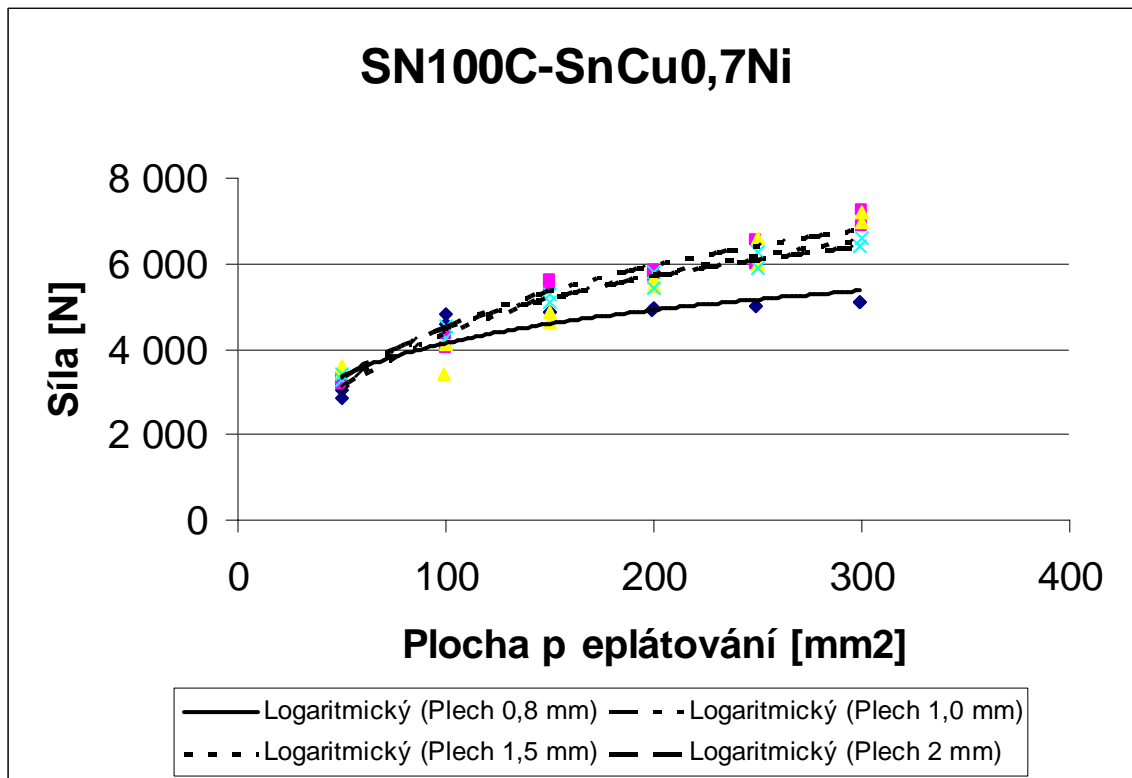
Z grafu 5 je patrné, že měkká pájka s přísadami stříbra a mědi vykazuje nejmenší pevnost u pozinkovaného ocelového plechu o tloušťce 0,8 mm. Pozinkované ocelové plechy o tloušťce 1,0; 1,5 a 2 mm vykazují při přelátování 300 mm<sup>2</sup> přibližně stejnou hodnotu a to sílu kolem 6 600 N.

graf 6: Pájka S-Pb60Sn40



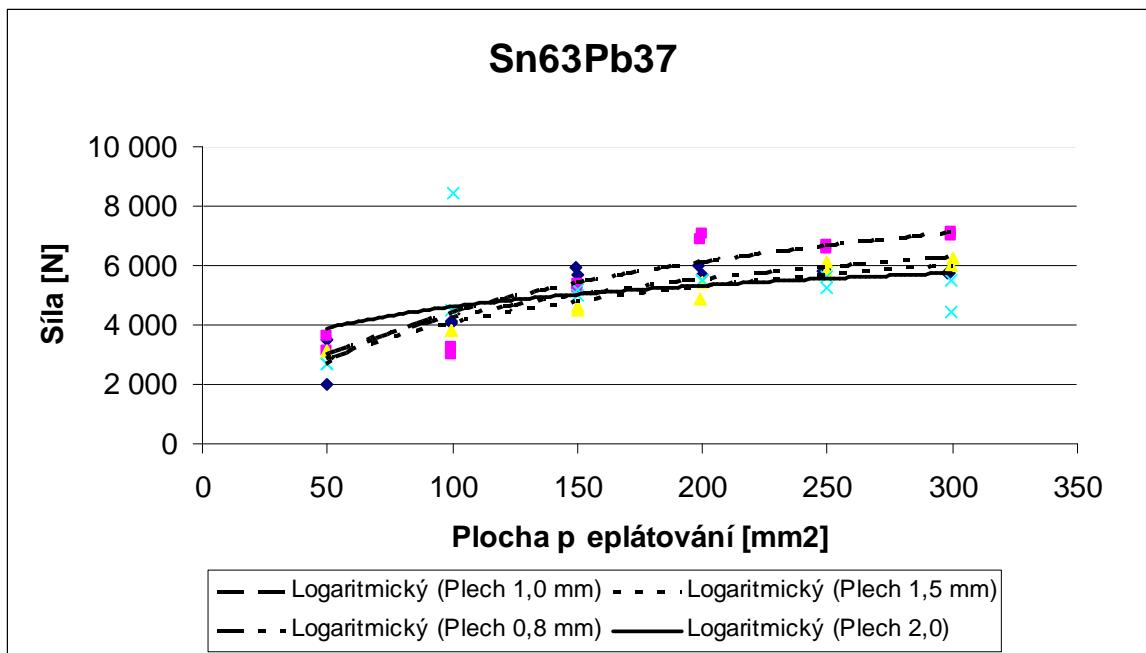
zí pájené spoje jsou z pozinkovaného ocelového plechu o tlouš ce 1,5 mm. Pozinkovaný ocelový plech o tlouš ce 0,8 mm vykazuje druhý nejpevn ější spoj.

graf 7: Pájka SN100C-SnCu0,7Ni

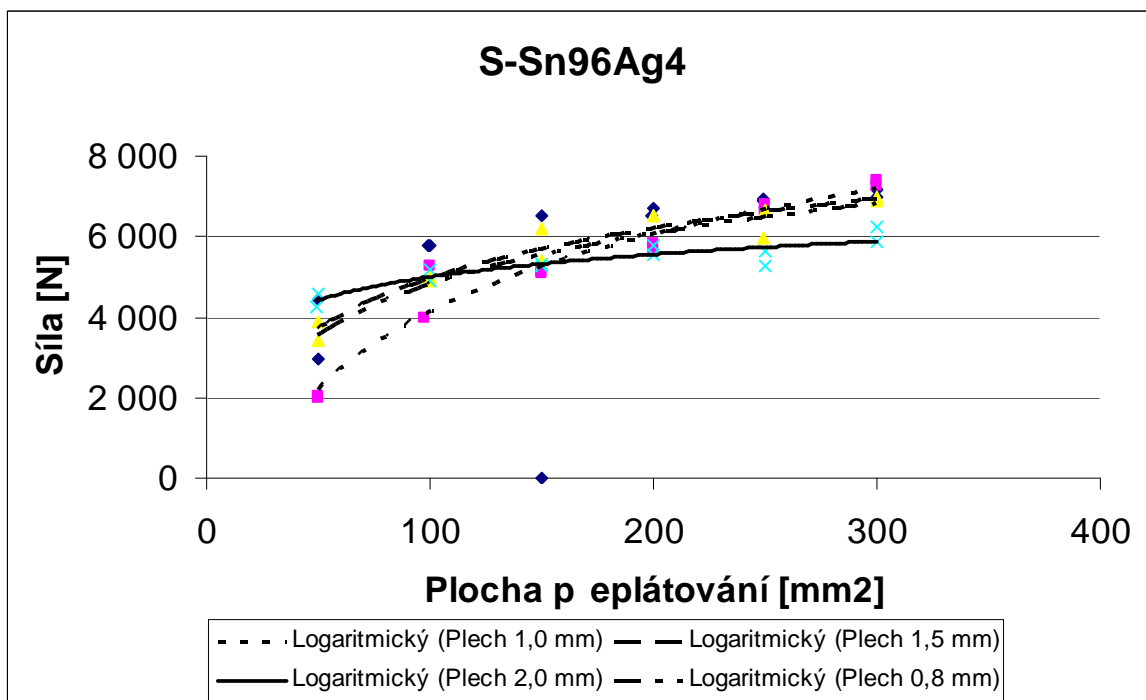


Nejv ětší pevnost spoje vykazují pozinkované ocelové plech o tlouš ce 1 a 1,5 mm. Naopak nejmenší pevnost vykazuje pozinkovaný ocelový plech o tlouš ce 0,8 mm.

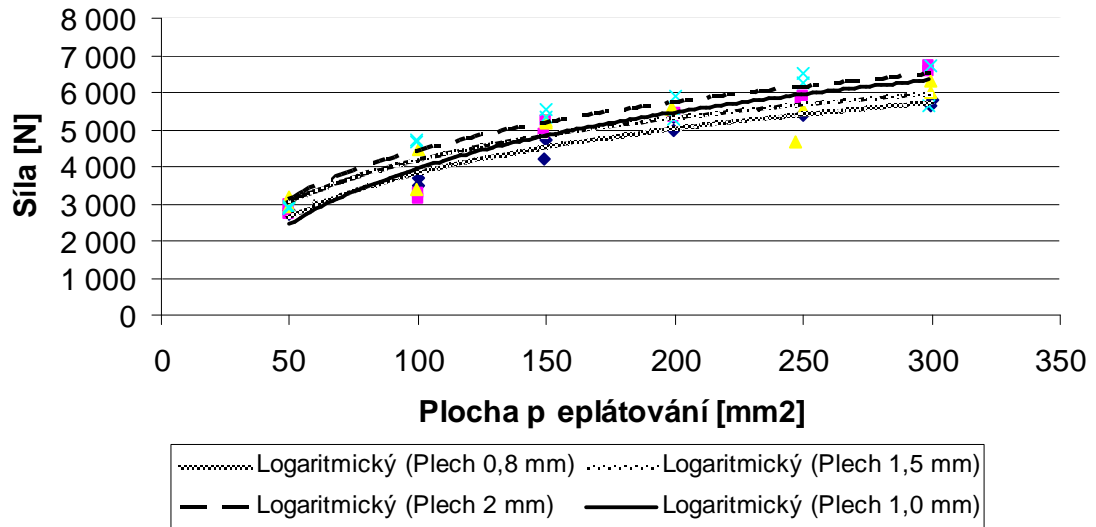
graf 8: Pájka Sn63Pb37



graf 9: Pájka Sn96Ag4



### S-Pb48Sn32Bi





V diplomové práci je uvedena hlavní podstata pájení, jeho výhody a nevýhody a využití v praxi. Diplomová práce dále uvádí pohled na různé pájky vyráběné a prodávané na tuzemském trhu. Diplomová práce dává také informace o tavidlech používaných při pájení materiálů. V práci jsou uvedeny metody pájení a materiály používané k pájení.

Pájení je definováno jako nerozebíratelné spojení materiálů pomocí přídavného materiálu. Metoda pájení má mnoho výhod jako je například menší spotřeba tepelné energie, plošný povrchový vzhled a také má mnoho nevýhod mezi které patří například menší pevnost, nižší tepelná odolnost a nebo vznik koroze. Pájení se používá například v výrobě výrobků elektrotechnického, chladírenského, spotřebního například pro myslu a bioterie.

Na tuzemském trhu se prodávají například měkké a tvrdé pájky. Měkké pájky se dále dělí na olovnaté a bezolovnaté. Měkké i tvrdé pájky se nejčastěji prodávají ve formě drátu, který je navinutý na cívce.

Před pájením se používají tzv. tavidla k odstranění oxidací vrstvy z povrchu pájeného materiálu z čehož dosažení dobré jakosti pájeného spoje. Tavidlo můžeme definovat jako homogenní směs tavených nebo netavených chemických sloučenin, roztok nebo jako pastovitou emulzi látek v rozpouštědle.

V rámci diplomové práce byla experimentálně naměřena síla potřebná k roztržení pájeného spoje. K experimentu bylo použito celkem 6 pájek, byly vyzkoušeny olovnaté i bezolovnaté pájky. Pomocí olovnatých a bezolovnatých pájek byly spájeny pozinkované ocelové plechy o tlouškách 0,8; 1,0; 1,5 a 2 mm. Výsledkem experimentu bylo zjistit, že nejvyšší pevnost vykazovali spoje pozinkované oceli o tloušce 0,8 mm. Na základě experimentu byla zjištěna závislost mezi silou potřebnou k roztržení spoje a plochou přelátování a dále závislost mezi silou a tlouškou plechu. Experimentem bylo zjištěno, že čím je pájený materiál tenší, tím je pevnost spoje vyšší. Dále bylo zjištěno, že čím je plocha přelátování vyšší, tím je vyšší i pevnost spoje.

- [1] RUŽA, Viliam. *Pájení*. Praha : SNTL . Nakladatelství technické literatury, n. p., 1988. 456 s.
- [2] N MEC, Karel. *Pájení*. Praha : SNTL . Nakladatelství technické literatury, n. p., 1970. 60 s.
- [3] ABEL, Martin; CIMBUREK, Vladimír. *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*. Pardubice : Abe.Tec, s.r.o., 2005. 179 s., ISBN: 80-903597-0-1
- [4] SLÁNSKÝ, Adolf; WOLLMANN, Jaroslav. *Kapilární pájení*. Praha : SNTL . Nakladatelství technické literatury, n. p., 1962. 286 s.
- [5] MACHEK, Václav. *Zpracování a zkouzení kovových materiálů*. Praha : Česká technika-nakladatelství VUT, 2011. 157 s., ISBN 978-80-01-04683-8
- [6] SCHWARTZ, M. *Brazing: for the engineering technologist*. London: Chapman & Hall, 1995. 389 s., ISBN: 0-412-60480-9
- [7] JACOBSON, M. David; HUMPSTON, Giles. *Principles of brazing*. USA: ASM international, 2005. 255 s. ISBN: 0-87170-812-4
- [8] STRAUSS, Rudolf. *SMT Soldering Handbook*. Great Britain: Newnes, 1998. 269 s., ISBN: 0-7506-1862-0
- [9] JUDD, Mike; BRINDLEY, Keith. *Soldering in Electronics Assembly*. Great Britain: Newnes, 1999. 366 s. ISBN: 0-7506-35452
- [10] BROŽEK, Milan. *Strojírenská technologie: (technologické postupy)*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2009. 103 s., ISBN: 978-80-213-1942-4
- [11] ROBERTS, Philip. *Industrial brazing practice*. Boca Raton: CRC Press, 2004. 379 s. ISBN: 0-8493-2112-3
- [12] PÍRK, Ludvík. *Pájky pro všechny obvykle užívané kovy*. Praha: I.L. Kober. 70 s.
- [13] [www.ferona.cz](http://www.ferona.cz) [online: 2013-03-15]
- [14] [www.kovopb.cz](http://www.kovopb.cz) [online: 2013-03-21]

Plech	pozink ocel
Tlouška plechu	0,8 mm
Pájka	Sn63Pb37
Průměr pájky	1,62 mm

Označení vzorku	F [N]	Plocha přelátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)	Mez pevnosti [MPa]
2,5/1	1 980	49,525	spoj	39,98
2,5/2	3 500	49,65	spoj	70,49
5/1	4 100	99,6	spoj	41,16
5/2	4 060	99,75	spoj	40,70
7,5/1	5 660	149,925	spoj	37,75
7,5/2	5 940	149,1	spoj	39,84
10/1	5 660	199,8	spoj	28,33
10/2	6 000	198,7	spoj	30,20
12,5/1	5 900	248,75	spoj	23,72
12,5/2	5 840	248,375	spoj	23,51
15/1	5 740	298,05	spoj	19,26
15/2	5 730	298,95	spoj	19,17

Plech	pozink ocel
Tlouška plechu	0,8 mm
Pájka	S-Sn96Ag4
Průměr pájky	1,00 mm

Oznaení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 940	49,75	spoj
2,5/2	4 420	49,725	spoj
5/1	5 760	99,4	spoj
5/2	5 800	99,75	spoj
7,5/1	6 400	149,7	spoj
7,5/2	6 520	149,8	spoj
10/1	6 500	199,2	spoj
10/2	6 720	199,6	spoj
12,5/1	6 920	249,5	spoj
12,5/2	6 890	249	spoj
15/1	7 000	299,9	spoj
15/2	7 160	300	spoj

Plech	pozink ocel
Tlouška plechu	0,8 mm
Pájka	S-Pb48Sn32Bi
Průměr pájky	1,00 mm

Oznaení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 700	49,9	spoj
2,5/2	2820	50	spoj
5/1	3 500	99,85	spoj
5/2	3 690	99,9	spoj
7,5/1	4 720	149,8	spoj
7,5/2	4 200	149,3	spoj
10/1	5 340	199,7	spoj
10/2	5 000	199,6	spoj
12,5/1	5 400	249,9	spoj
12,5/2	5 460	250	spoj
15/1	5 800	300	spoj
15/2	5 640	299,8	spoj

Plech	pozink ocel
Tlouška plechu	0,8 mm
Pájka	S-Pb60Sn40

		Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 100	50	spoj
2,5/2	2 820	49,5	spoj
5/1	4 320	99,70	spoj
5/2	4 280	99,6	spoj
7,5/1	5 100	149,8	spoj
7,5/2	4 980	149,4	spoj
10/1	5 480	199,5	spoj
10/2	5 600	200	spoj
12,5/1	6 320	249,8	spoj
12,5/2	6 000	249,6	spoj
15/1	6 700	300	spoj
15/2	6 560	299	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	0,8 mm
Pájka	S-Sn96,5Ag3Cu0,5

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 840	49,7	spoj
2,5/2	2 800	49,5	spoj
5/1	3 600	99,50	spoj
5/2	3 680	99,8	spoj
7,5/1	4 300	150	spoj
7,5/2	4 260	149,9	spoj
10/1	4 800	199,6	spoj
10/2	4 880	200	spoj
12,5/1	5 140	249,7	spoj
12,5/2	5 100	249,6	spoj
15/1	5 420	299,5	spoj
15/2	5 460	299	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	0,8 mm
Pájka	SN 100 C-SnCu0,7Ni

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 020	50	spoj
2,5/2	2 860	50	spoj
5/1	4 580	99,70	spoj
5/2	4 800	100	spoj
7,5/1	4 880	150	spoj

		149,9	spoj
10/1	4 900	199,2	spoj
10/2	4 960	200	spoj
12,5/1	5 000	248,9	spoj
12,5/2	5 020	249,3	spoj
15/1	5 120	299,5	spoj
15/2	5 100	299	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,0 mm
Pájka	Sn63Pb37

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 600	50	spoj
2,5/2	3 120	49,7	spoj
5/1	3 020	99,6	spoj
5/2	3 240	99,8	spoj
7,5/1	5 400	150	spoj
7,5/2	5 260	149,9	spoj
10/1	7 080	199,9	spoj
10/2	6 860	198,9	spoj
12,5/1	6 580	249,5	spoj
12,5/2	6 680	249,6	spoj
15/1	7 100	299,8	spoj
15/2	7 000	299,75	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,0 mm
Pájka	S-Sn96Ag4

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 020	49,9	spoj
2,5/2	2 000	49,8	spoj
5/1	5 280	100	spoj
5/2	3 960	97,8	spoj
7,5/1	5 080	149,8	spoj
7,5/2	5 120	149,9	spoj
10/1	5 640	199,6	spoj
10/2	5 820	199,8	spoj
12,5/1	6 600	249,7	spoj
12,5/2	6 820	249,8	spoj
15/1	7 400	300	spoj
15/2	7 240	299,9	spoj



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,0 mm
Pájka	SN100C-SnCu0,7Ni

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 200	49,8	spoj
2,5/2	3 320	49,9	spoj
5/1	4 020	99,6	spoj
5/2	4 340	99,89	spoj
7,5/1	5 460	149,9	spoj
7,5/2	5 600	150	spoj
10/1	5 720	199,75	spoj
10/2	5860	199,8	spoj
12,5/1	6 000	249,4	spoj
12,5/2	6 540	249,5	spoj
15/1	6 900	299,8	spoj
15/2	7 260	300	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,0 mm
Pájka	S-Pb48Sn32Bi

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 700	49,9	spoj
2,5/2	2 980	50	spoj
5/1	3 300	100	spoj
5/2	3 140	99,8	spoj
7,5/1	4 880	148,9	spoj
7,5/2	5 240	150	spoj
10/1	5 460	199,9	spoj
10/2	5 320	199,8	spoj
12,5/1	5780	248,9	spoj
12,5/2	5 900	249,9	spoj
15/1	6 560	298,8	spoj
15/2	6 700	299	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,0 mm
Pájka	S-Pb60Sn40

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 100	49,9	spoj
2,5/2	2 980	49,8	spoj



		99,9	spoj
5/2	3 500	99,7	spoj
7,5/1	4 000	149,7	spoj
7,5/2	4 280	149,8	spoj
10/1	4 500	200	spoj
10/2	4 480	199,9	spoj
12,5/1	6 120	249,5	spoj
12,5/2	6 720	250	spoj
15/1	6 900	299,4	spoj
15/2	7 100	299,8	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,0 mm
Pájka	S-Sn96,5Ag3Cu0,5

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 420	49,9	spoj
2,5/2	3 200	49,7	spoj
5/1	4 280	99,6	spoj
5/2	4 400	99,7	spoj
7,5/1	4 000	148,5	spoj
7,5/2	4 800	150	spoj
10/1	5 660	199,9	spoj
10/2	6 140	200	spoj
12,5/1	6 420	249,9	spoj
12,5/2	5 600	248,2	spoj
15/1	6 500	299,9	spoj
15/2	6 540	300	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,5 mm
Pájka	SN100C-SnCu0,7Ni

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 600	49,9	spoj
2,5/2	3 460	49,8	spoj
5/1	4 100	99,9	spoj
5/2	3 400	99,2	spoj
7,5/1	4 860	149,9	spoj
7,5/2	4 620	149,8	spoj
10/1	5 460	199,9	spoj
10/2	5 640	200	spoj
12,5/1	6 600	250	spoj

		249,7	spoj
15/1	6 980	299,7	spoj
15/2	7 200	299,8	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,5 mm
Pájka	S-Pb60Sn40

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 820	50	spoj
2,5/2	3 420	49,7	spoj
5/1	4 700	100	spoj
5/2	3 800	98,2	spoj
7,5/1	5 640	149,8	spoj
7,5/2	5 980	149,9	spoj
10/1	6 600	199,9	spoj
10/2	6 520	199,8	spoj
12,5/1	7 180	249,5	spoj
12,5/2	7 400	249,7	spoj
15/1	6 800	297,4	spoj
15/2	7 640	299,9	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,5 mm
Pájka	S-Sn96,5Ag3Cu0,5

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 300	48	spoj
2,5/2	3 520	49,9	spoj
5/1	3 900	99,4	spoj
5/2	4 320	99,7	spoj
7,5/1	4 880	149,8	spoj
7,5/2	5 160	149,9	spoj
10/1	5 440	199,8	spoj
10/2	5 000	199,6	spoj
12,5/1	5 900	249,8	spoj
12,5/2	6 140	249,9	spoj
15/1	6 560	299,8	spoj
15/2	6 500	299,75	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,5 mm
Pájka	Sn63Pb37

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 100	49,9	spoj
2,5/2	3 120	49,9	spoj
5/1	3 800	99,8	spoj
5/2	3 840	99,8	spoj
7,5/1	4 600	150	spoj
7,5/2	4 480	149,9	spoj
10/1	5 420	199,9	spoj
10/2	4 900	198,9	spoj
12,5/1	5 840	249,8	spoj
12,5/2	6 140	249,9	spoj
15/1	6 260	299,9	spoj
15/2	6 000	299,8	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,5 mm
Pájka	S-Pb48Sn32Bi

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 200	49,8	spoj
2,5/2	2 900	49,8	spoj
5/1	4 480	99,9	spoj
5/2	3 400	99,7	spoj
7,5/1	5 220	149,9	spoj
7,5/2	5 180	149,8	spoj
10/1	5 520	198,9	spoj
10/2	5 600	198,9	spoj
12,5/1	4 680	247	spoj
12,5/2	5 520	249,9	spoj
15/1	6 000	299,7	spoj
15/2	6 300	299,8	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	1,5 mm
Pájka	S-Sn96Ag4

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 400	49,8	spoj
2,5/2	3 880	50	spoj
5/1	4 900	99,85	spoj
5/2	5 000	99,9	spoj
7,5/1	6 180	150	spoj
7,5/2	5 400	149,8	spoj
10/1	6 520	199,9	spoj
10/2	6 500	199,9	spoj
12,5/1	5 980	249,5	spoj
12,5/2	6 660	249,8	spoj
15/1	6 880	299,8	spoj
15/2	7 000	299,9	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	2 mm
Pájka	Sn63Pb37

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 680	50	spoj
2,5/2	2 700	50	spoj
5/1	8 460	100	spoj
5/2	4 520	99,8	spoj
7,5/1	5 020	149,8	spoj
7,5/2	5 200	149,9	spoj
10/1	5 480	199,9	spoj
10/2	5 500	199,9	spoj
12,5/1	5 620	250	spoj
12,5/2	5 260	249,7	spoj
15/1	4 420	299,2	spoj
15/2	5 500	299,5	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	2 mm
Pájka	S-Sn96,5Ag3Cu0,5

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 780	49,9	spoj
2,5/2	2 600	49,8	spoj
5/1	4 720	99,9	spoj
5/2	4 280	99,2	spoj

		149,8	spoj
7,5/2	4 900	149,8	spoj
10/1	5 600	199,9	spoj
10/2	5 880	200	spoj
12,5/1	6 300	250	spoj
12,5/2	5 020	249,7	spoj
15/1	6 580	299,7	spoj
15/2	6 700	299,9	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	2 mm
Pájka	S-Pb60Sn40

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 480	49,2	spoj
2,5/2	2 600	49,3	spoj
5/1	4 360	99,7	spoj
5/2	4 420	99,8	spoj
7,5/1	5 120	149,7	spoj
7,5/2	5 220	149,8	spoj
10/1	5 460	199,9	spoj
10/2	5 200	199,75	spoj
12,5/1	5 420	248,9	spoj
12,5/2	5 360	248,8	spoj
15/1	5 520	299,7	spoj
15/2	5 700	299,8	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	2 mm
Pájka	S-Sn96Ag4

Ozna ní vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	4 600	50	spoj
2,5/2	4 260	49,5	spoj
5/1	4 880	99,7	spoj
5/2	5160	99,8	spoj
7,5/1	5 320	149,9	spoj
7,5/2	5 280	149,8	spoj
10/1	5 800	199,8	spoj
10/2	5 560	199,7	spoj
12,5/1	5 640	249,8	spoj
12,5/2	5 280	249,7	spoj
15/1	5 860	299,7	spoj
15/2	6 240	299,9	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	2 mm
Pájka	S-Pb48Sn32Bi

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	2 880	49,7	spoj
2,5/2	2 900	49,8	spoj
5/1	4 660	99,6	spoj
5/2	4 720	99,7	spoj
7,5/1	5 320	149,7	spoj
7,5/2	5 520	149,8	spoj
10/1	5 280	199,8	spoj
10/2	5 920	200	spoj
12,5/1	6 520	249,9	spoj
12,5/2	6 240	249,8	spoj
15/1	5 620	299,1	spoj
15/2	6 740	299,8	spoj

Plech	pozink ocel
Tlou- ka plechu	2 mm
Pájka	SN100C-SnCu0,7Ni

Ozna ení vzorku	F [N]	Plocha p eplátování [mm <sup>2</sup> ]	Deformace (spoj/plech)
2,5/1	3 280	49,7	spoj
2,5/2	3 400	49,8	spoj
5/1	4 280	99,6	spoj
5/2	4 540	99,7	spoj
7,5/1	5 120	149,7	spoj
7,5/2	5 300	149,8	spoj
10/1	5 440	199,7	spoj
10/2	5 800	199,9	spoj
12,5/1	5 880	249,8	spoj
12,5/2	6 280	249,9	spoj
15/1	6 420	299,5	spoj
15/2	6 600	299,8	spoj